



FONDO PIZZOFALCONE



BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio

XXXX



II

Palchetto

Num.º d'ordine

163B#2

NAZIONALE

B. Prov.

I

741

NAPOLI

VITT. EM. III

R. BIBLIOTECA

B. P.

I

741-745



606908 SBN

ELEMENTI

D I

FISICA SPERIMENTALE

E DI METEOROLOGIA

DI

M. POUILLET



SOCIO DELL'ACCADEMIA REALE DELLE SCIENZE DELL'ISTITUTO DI FRANCIA, PROFESSORE DI FISICA ALLA FACOLTA' DELLE SCIENZE DI PARIGI, PROFESSORE DI FISICA APPLICATA ALLE ARTI AL CONSERVATORIO REALE DI ARTI E MESTIERI, AMMINISTRATORE DI QUESTO STABILIMENTO, MEMBRO DELLA SOCIETA' FILOMATICA, DEL CONSIGLIO DELLA SOCIETA' D'INCORAGGIAMENTO, ECC. ECC.

Opera

ADOTTATA DAL CONSIGLIO REALE
D'ISTRUZIONE PUBBLICA PER LO INSEGNAMENTO DELLA FISICA
NEGLI STABILIMENTI DELL'UNIVERSITA'.

TERZA EDIZIONE VOLTATA IN ITALIANO

CON NOTE E GIUNTE

DI L. PALMIERI

Verus experientiae ordo primum lumen accendit
Deinde per lumen iter demonstrat.

BACON . Nov. Or.

TOMO PRIMO.



NAPOLI,

Bresso V. Buzzella Tipografo-Librajo-Editore

Strada Toledo n°. 346 sotto il palazzo del marchese Cavalcanti

1839.

80 p. 30

*La presente edizione per la traduzione e le giunte è posta sotto
la salvaguardia delle Leggi.*

PREFAZIONE

DEL TRADUTTORE

Non è mio divisamento di venire enumerando i pregi pe' quali questi *Elementi di Fisica e Meteorologia* che ho recati dal francese nel nostro idioma, son da commendare, imperciocchè correrai rischio di dir cose risapute, non essendovi forse tirone delle scienze fisiche cui non sian venuti in notizia. Per la qual cosa toccherò solo della maniera onde sonomi comportato nel traslatare i medesimi. E facendomi da capo dirò, che siccome questi *Elementi* potranno principalmente per la istruzione della gioventù essere adoperati; così sonomi data tutta la cura di rischiarar que' luoghi che ho creduto men facili ed aperti, aggiungendo qualche dimostrazione omessa dall' autore, o qualche dottrina che ho reputato necessaria. E quando mi è stato forza ricorrere alle matematiche, ho usato la maggior chiarezza che per me si è potuto, senza entrar mai nelle sublimi teoriche del calcolo, d'altronde essenziali, per chiunque voglia delle scienze fisiche esser pienamente informato, essendo il libro della natura scritto a caratteri matematici, siccome dicea quell' immenso ingegno del Galilei. A tutto ciò ho adempito con alcune note poste in piè di pagina, e con alcune giunte che troverannosi poste separatamente; e per questo sonomi giovato delle migliori opere de' più solenni fisici, particolarmente della età nostra, come di quelle del Pecler, del Lamè, del Piangiuni, del Nobili, del Melloni, del Gerbi, del Belli ed altri. Le giunte particolarmente riguardano la dottrina del moto e dell' equilibrio, la gravitazione universale, ed alcune teoriche fisico-chimiche. Sonomi indotto ad allargare alquanto le dottrine attenenti alla fisica generale, essendomi sembrate troppo ristrette quelle esposte dall' autore. In oltre tutt' i fisici parlano della gravitazione e questa essendo un caso della gravitazione universale, ho divisato non esser fuori proposito il far di questa un breve cenno, il quale potrà servire a spiegare il fenomeno delle maree, e ad offrire un' idea generale sul sistema del mondo, onde, sull' esempio del Gerbi e di altri dotti fisici, ho toccato questo piacevole argomento, e rendomi certo che almeno coloro che per ragione dei loro studi non potranno procedere oltre nelle scienze naturali, me ne sapranno buon grado, non volendo restar digiuni di alcune sublimi verità che

*

uomini di alto sapere come un Cagnoli, un Francoeur, un Herchel si studiarono di rendere popolari. Da ultimo perchè per intendere alcune teorie di pertinenza della fisica, è assolutamente d'uopo ricorrere alla chimica, così senza mettere, come suol dirsi, la falce nella mossa altrui, ho tolto alcune verità come in prestanza dalla chimica, per farle servire di schiarimento a parecchie verità spettanti alla fisica, perocchè io mi penso, che in molti casi il fisico debba dire al chimico come in altra occasione dicea il Venosino: hanc veniam petimusque damusque vicissim. E per fermo l'avanzamento delle scienze dice il dotto P. Piangiani ha sì strettamente runnodato la fisica con la chimica, che non è ormai possibile il separarle, anzi, come ben riflette il chiaro Pr. Scinà, non di rado assai difficile riesce l'assegnare i limiti che le separano. La chimica senza la fisica, continua il Piangiani, è un cumulo di fatti e di leggi particolari non collegate da alcun principio generale, è un' arte più veramente che una scienza: la fisica ancora in non poche parti manca riesce ed imperfetta senza il soccorso della chimica. Nè diversamente ragiona il dotto Pr. di Pisa Ranieri Gerbi nel cominciare il 3.^o volume del suo pregeantissimo Corso di Fisica, ove avverte non potersi dallo studio della fisica particolare disgiungere quello della chimica, perocchè di queste scienze può dirsi.

. Alterius sic
Altera poscit opem res, et coniurat amice.

Nè il ragionar degl' Italiani dovrà esser tenuto in lieve conto da tutti coloro che vorranno ricordarsi esser stata l'Italia la patria di un La Porta, di un Galilei, di un Torricelli, di un Volta, di un Nobili e di altri molti, ed avere ora un Melloni, un Belli, un Amici ec. Del resto nè punto nè poco si scostano dal ragionare di costoro anche i più illustri stranieri. E se il celebre Hailly dicca, in molti casi il vero fisico doversi dir colui che parla il linguaggio del chimico, con più saggia ragione potrem noi ripetere lo stesso, particolarmente da che la stupenda invenzione del Volta è venuta a sparger tanta luce sulla fisica e sulla chimica, da far dire dall'immortale Davy, avere a queste scienze giovato più che il microscopio alla storia naturale ed il telescopio all'astronomia. Ma, per non dir di tanti altri, ascoltiamo l'acertatissimo Pr. Lamè. « il progresso che tutte queste scienze (le scienze fisiche) fanno separatamente verso lo scopo particolare di che ciascuna di esse si prefigge, ci ridurranno presto o tardi alla « necessità di riunirle di nuovo per riformare in qualche maniera la « scienza generale della natura. Già molte di esse sullo stesso « terreno lavorano, ed i punti di toccamento e di fusione si van di « giorno in giorno moltiplicando, talche sempre più difficile riesce di « segnar tra esse una linea di separazione si ferma, da non poter essere oltrepassata. La fisica e la chimica specialmente presentano così siffatta difficoltà. È già lunga pezza che si è creduto, la prima di « tali scienze doversi versare intorno alle azioni che manifestansi a

« distanze sensibili, e la seconda delle azioni che han luogo fra i
 « corpi, allorchè questi si toccano ovvero si pongano in molta vicinan-
 « za gli uni con gli altri: ma una cotal distinzione non è più da
 « essere accolta or che lo studio de' fenomeni capillari è già sotto la
 « dipendenza della fisica, e che si è conosciuto l'attrito, il contatto,
 « le combinazioni chimiche, dar fuori elettrico, calorico, e luce, de'
 « quali è forza conoscer le leggi se si vorrà sapere la influenza che
 « questi poderosi agenti spiegano nella produzione de' naturali fenomeni.

Io non mi saprei dire se nell'ordinamento degli studi debba la
 fisica o la chimica precedere, ma 'so che comunemente fra noi dalla
 fisica suolsi incominciare, e che molti ve n'ha che a questa si arre-
 stano, per la qual cosa conviene che le materie abbiano una dispo-
 sizione conveniente alla maniera d'insegnamento usata fra noi.

Finalmente sapendo per pratica, che i giovani alle volte, appa-
 rati appena gli Elementi di Geometria, riduconsi a studiare la fisica,
 così ho segnato con asterisco que' pochi paragrafi ne' quali l'autore
 oltrepassa questo limite, acciò i meno versati nelle matematiche pos-
 sano trasandarli senza grave lor nocumento.

L. P.

AVVERTIMENTO

SULLA TERZA EDIZIONE

DEGLI

Elementi di Fisica e Meteorologia.

Nel breve tempo decorso dacchè fu pubblicata la seconda edizione di quest'opera, il progresso della scienza è stato segnato da molti lavori, e da importanti scoperte. Sonosi veduti in ogni luogo, sia nella Francia, sia presso lo straniero, molti giovani intraprendere rilevanti ricerche, ed unire i loro nomi a quelli de' più solenni fisici che in questi ultimi tempi hanno tanto cooperato all'avanzamento delle diverse parti della fisica. Tanti risultamenti novelli ottenuti in sì breve tempo in Francia, in Inghilterra, in Italia, in Alemagna, in Russia, in America, fan la pruova più lucida che la scienza, sarei per dire, è nella sua infanzia, e che noi cominciamo appena ad essere in possesso de' veri mezzi d'osservare, i quali dovrannoci una volta guidare a connettere tutt' i fenomeni naturali mercè di leggi generali e sicure.

Se le grandi divisioni della fisica son da gran tempo segnate, se la gravità, il calorico, l'elettricismo, il magnetismo, le azioni molecolari, l'acustica e l'ottica son l'obbietto della fisica moderna egualmente che dell' antica, non deve perciò inferirsene essere il nostro secolo stazionario, o la fisica aver toccato il suo termine, ma solo converrà conchiudere, piccolo essere il numero delle forze cui la materia è sommessata, e queste essersi appalesate agli antichi osservatori, per mezzo di fenomeni più o

meno sensibili , ed esser stata agevol cosa l' enumerarle e classificarle fin da principio. Potrebbeasi parimente conchiudere, il vero scopo della scienza non consistere nello investigare nuove forze , ma bensì nel determinare le leggi e le maniere di operare delle forze già conosciute. E per fermo , tale è stato il sentiere che da tre secoli a questa parte si è calcolato, seguendo le orme di Keplero, di Galilei, di Cartesio, di Pascal e di Newton, i quali i primi lo aprirono alla mente umana.

Di quali importanti scoperte non si è arricchita la scienza nel volger di tre secoli i più chiari nella storia dell' umanità ! e fruttanto quando non sembrano scarse e limitate le nostre conoscenze allorchè volgiamo seriamente lo sguardo su i misteri infiniti in mezzo a quali ci troviamo ! secondo che la scienza si avvanza , nostra mente sembra innalzarsi su di un orizzonte più ampio, dal quale appariscono nuove regioni da esplorare. Noi cominciamo ad uscire dalle tenebre, il nostro sguardo comincia a reggere in faccia alla luce , e possiamo meglio di quel che si potea in altra stagione giudicar de' sodi ed efficaci aiuti che la scienza può dare alla civiltà. Sviluppansi le teoriche , le applicazioni fanno sì numerose, e le specolazioni industriali vi ritrovano mezzi per lo innanzi non conosciuti. Poichè la fisica ha occupato un posto nell' insegnamento generale, per assuefare la intelligenza alla logica de' fatti cotanto chiara e feconda , essa si caccia ne' luoghi ove lavora l' artista per recarvi il gusto, la giustezza, e per facilitare le invenzioni. Onde per la felice influenza di tante circostanze, le scoperte succedonsi le une alle altre con velocità senza esempio , e noi veggiamo da un momento all' altro un nuovo ordine di fenomeni aprire nuove vie alle nostre investigazioni.

Intanto nel mezzo di questo general movimento della scienza , nel mezzo delle mutazioni più o men solide e progressive che essa va soffrendo , i trattati

elementari è forza che siano incompleti: perocchè essi possono offrir il quadro esatto delle nostre conoscenze solo nel tempo della loro apparizione, ma passati appena pochi mesi, questo quadro rimane infedele, non già perchè una proposizione oggi reputata vera possa domani apparir falsa, perocchè fortunatamente abbiamo metodi sperimentali sì fermi da non poter confondere la verità con l'errore, nè i risultamenti si mutano, anzi restano costanti e fan parte del dominio della scienza, ma ciò avviene perchè essi si estendono, fannosi più generali, e solo per una nuova osservazione possono sovente, d'una maniera più semplice e più chiara venir dimostrati. Ne' libri d'istituzione dunque come ne' trattati speciali è da usare somma diligenza non solo di non trascurare alcuna cosa importante, ma eziandio di avvicinare le sperienze, ed i fatti, e di classificarli per quando è possibile secondo un ordine logico valevole a concatenarli strettamente.

Ecco quel che con diligenza novella sonomi ingegnato di fare in questa terza edizione, e però ne ho dovuto rifare quasi interamente tutte le parti. Parlando della gravità ho riferito i principali risultamenti ottenuti dal signor Savart intorno allo scolo de' fluidi ed a' tanto notabili fenomeni che presentano le vene fluide nell'urtar che fanno una superficie piana o cilindrica.

Relativamente al calorico, le belle esperienze del signor Melloni e di qualche altro fisico, sulle proprietà del calorico raggiante, sonomi sembrate sì decisive, che ho stimato sull'esempio del signor Biot di parlare della comunicazione del calorico per irraggiamento dopo aver trattato della luce, e ciò formerà il subbietto della seconda parte del calorico, la quale può dirsi quasi del tutto nuova. La prima parte è stata anche di molto allargata mercè le mie esperienze sulle alte temperature, delle quali sonomi data la pena di porgere un'estesa idea.

Per ciò che concerne poi l'elettricismo, ed il magnetismo, v'ha principalmente di molte innovazioni e giunte relevantissime. I molti fenomeni non ha guari scoperti dal signor Faraday (1) eran precipuamente degni di speciale attenzione, ed enmi sembrato pregio dell'opera il diffondermi alcun poco sulle quistioni relative alle leggi d'intensità delle correnti termo-elettriche, e idro-elettriche, che han formato il subbietto di due memorie da me presentate in quest'anno all'accademia delle scienze.

Nell'acustica ho dovuto principalmente ingegnarmi di riprodurre i principali risultamenti dovuti alle importanti ricerche del signor Savart.

Nell'ottica non v'ha alcuna essenziale innovazione, traune i fenomeni della polarizzazione circolare, che il signor Biot ha saputo felicemente applicare allo studio delle forze chimiche.

Da ultimo nella meteorologia mi son data tutta la premura d'indicare i più esatti particolari che riguardano gli svariati mezzi di fare le osservazioni, e di ravvicinare i fatti più certi che mi è riuscito di raccogliere.

Ad onta delle molte ed estese giunte, pure col trascurare alcuni particolari, col seguire diverso ordine intorno a talune quistioni, e specialmente adoperando nella impressione caratteri più piccoli, emmi riuscito di ridurre quest'opera in due volumi, i quali non debbono andar suddivisi in due parti come quelli della edizione antecedente.

Il primo volume comprende le nozioni preliminari, la gravità, la prima parte del calorico, il magnetismo, l'elettricismo, il galvanismo e l'elettro-magnetismo.

(1) Uopo è avvertire ad onore della nostra Italia, che divulgata appena la notizia delle prime scoperte del Signor Faraday, il Cav: Nobili, ed il Cav: Antinori istituirono una serie di luminose esperienze dalle quali ottennero risultamenti grandissimi, come sarà avvertito a suo luogo.

Il secondo si versa intorno alle azioni molecolari , all' acustica all' ottica , alla seconda parte del calorico , ed alla meteorologia.

Le figure sono state rifatte interamente; il disegno degli apparati è del signor Silberman il quale da lungo tempo mi coadiuva con sommo zelo e sapere : noi ci siamo studiati di rappresentare le macchine principali in guisa che si potessero comprendere i particolari della loro struttura.

Dopo di aver usata questa nuova premura affin di corrispondere per quanto potea alla somma benevolenza con la quale il pubblico ha accolte le due precedenti edizioni degli elementi di fisica , mi resta solo a pregare caldamente coloro che vorranno avvalersi di quest'opera, e particolarmente i signori Professori delle Facoltà e de' Collegi Reali , di continuare a comunicarmi le loro osservazioni; specialmente su que' punti che potranno loro parere dubbi ed oscuri : io ho profittato con gratitudine de' consigli datimi sul proposito , e stimerò sempre mio debito di riceverli con la stessa premura. I trattati elementari debbono principalmente offrire i metodi e le leggi della scienza con quella luce che afforza ed eleva la mente; tale essendo il principale requisito di essi; ed io mi penso, niente altro poter tornare più utile all'autore per soddisfarvi, quanto l'opinione amichevole e sincera del suo lettore.

OSSERVAZIONI SUR ALCUNE FIGURE

Fig. 131. Questa figura corrisponde al n. 90 del testo, essa serve a far vedere le differenti velocità che dee prendere il liquido attraversando le differenti sezioni del vase, nella ipotesi del parallelismo de' tagliuoli (*tranches*).

Fig. 146 e 147. Queste due figure rappresentano l'effetto dell'urto di una vena fluida ascendente contro di un corpo solido.

Fig. 216. L'apparato espresso da questa figura vale a dimostrare il massimo di densità dell'acqua: e però si pone il diaccio nel cilindro di vetro che circonda il vase.

Fig. 227. Bollente di Franklin. Questo apparato è privo d'aria e contiene dell'etere colorato; il semplice calorico della mano applicata ad una delle sue bolle basta per produrre nell'altra bolla una ebullizione visibile, effetto della influenza del liquido che viene spinto dalla forza elastica sviluppata nella prima bolla dall'azione del calorico.

Fig. 251. Ago di pruova del quale si parla ne' n. 165 e 180 del testo.

Fig. 253. Questa figura rappresenta il magnetizzare per isfregamento.

Fig. 353. Questa figura rappresenta l'esperienza della quale si parla nel n. 288. del testo.

ELEMENTI
D I
FISICA SPERIMENTALE
E DI METEOROLOGIA

Nozioni preliminari.



CAPO PRIMO

De' fenomeni naturali. — Dello spazio. — Del tempo — Della materia. —
Delle forze. — Del moto. — Dell'inerzia.

1. I naturali fenomeni che sulla terra e nel cielo continuamente riproduconsi, offrono al nostro sguardo uno spettacolo sì grande, ed alla nostra curiosità un allettamento sì forte, che noi siamo, quasi nostro malgrado, tratti a meditare sull'aggregato delle cagioni che producono effetti cotanto maravigliosi. Usciti appena di nostra prima età fissiam lo sguardo sugli svariati oggetti che la natura ci presenta, e con tutta la forza di nostra mente ci facciamo ad osservare la forma del suolo e de' monti, la gravità de' corpi, il moto delle acque dell'aria e delle nubi, la lucida volta celeste con le svariatisime apparizioni degli astri innumerabili che sembrano girarla con indicibile regolarità.

Noi siam nati osservatori, ed in questo senso può dirsi che tutti gli uomini siano fisici⁽¹⁾. Ma in mezzo alla molteplicità de' fenomeni che ci circondano, non può il nostro pensiero immediatamente elevarsi alla conoscenza delle cause, e delle leggi generali, cui tali fenomeni ubbidiscono. E però per la storia del pensiero umano bello è il seguire, tra il volger de' secoli, le idee bizzarre che gli uomini successivamente si han formate sulle proprietà de' corpi e degli elementi da quali compongonsi, su i principj e le cagioni che agitano la materia e mantengono l'armonia dell'universo. Quale confusione d'ipotesi e di errori in mezzo a' quali uomini d'ingegno elevato gittarono talvolta qualche feconda verità! Ed anche ora, non sarebbe forse bello il conoscere la varietà de' pensamenti umani, procedendo dal più ignorante al più istruito, su i fenomeni della natura, sugli effetti dell'aria e dell'atmosfera, sull'equilibrio delle acque intorno alla terra, sugli effetti del calorico e della luce, sulla meteorologia, come per esempio sulla causa del fulmine che sebbene più non si suole personificare, pure non manca chi ancor se lo immagini come avente una forma ed un corpo! Quale varietà d'idee! Qual differenza fra gli uomini! Quale disparità tra i popoli! Potrebbe dirsi che le opinioni di tutt' i secoli si trovano in una sola generazione: in una mente incolta, presso di una nazione ignorante, tutti gli errori ed i pregiudizi de' secoli passati; in una mente colta, presso di una nazione illuminata, tutte le conoscenze che sonosi tramandate d'età in età, e tutte le leggi generali cui la ragione ha potuto innalzarsi.

La fisica, detta anche filosofia naturale, abbraccia una parte di quelle conoscenze le quali in questi tempi il vasto dominio della scienza, costituiscono; essa ne è la parte filosofica e fondamentale. Si suol dire che obbietto di questa sono le proprietà de' corpi, e le azio-

(1) Analogamente scrisse Aristotile Met. I.

Πάντες ἀνθρώποι τοῦ εἶδεναι ὀρεγούται φύσει.

ni che questi osercitano a grandi distanze , e ciò infatti può dirsi di più semplice, qualora si voglia in un modo generale assolutamente definirla (1). Ma tentare di definire una scienza vale lo stesso che non voler essere inteso, — conciosiacchè, una scienza non si può come un oggetto materiale o una figura di geometria, definire per qualche sua proprietà caratteristica o singolare. Per la qual cosa ci si permetterà sicuramente d' incominciare lo studio della fisica piuttosto dal procurare di porger chiare e precise nozioni degli oggetti de' quali essa si occupa, anzicchè vaghe ed oscure definizioni dello scopo cui essa tende (2).

(1) Vedi il passo di Lamé da me recato nella prefazione.

(2) « La fisica dice il Despretz si versa intorno a' cambiamenti « passaggieri a' quali i corpi sono soggetti tanto per la loro scam-
« bievole influenza, quanto per l'azione del calorico, dell' elettrici-
» smo, della luce ec. Noi vedremo che questi cambiamenti gene-
» ralmente riduconsi a certi movimenti più o meno sensibili.

» Il Peclet dice: la fisica ha per obbietto di studiare le pro-
» prietà generali de' corpi inorganici che possiamo vedere toccare
» pesare, e quelle di alcuni fluidi che sembrano privi di gravità,
» l'esistenza de' quali può ammettersi come una ipotesi probabile; tali
» fluidi sono il calorico, i fluidi magnetico ed elettrico, e la luce.

» La fisica finalmente secondo Lamé considera specialmente le
» proprietà generali de' corpi ed i fenomeni che non inducono de'
» cambiamenti durevoli nella intima composizione di essi, ma che
» sembrano dipendere da alcuni agenti universali, de' quali uopò è
» conoscere le leggi e le definizioni.

Poste queste definizioni della fisica, non mi pare ben fatto il contentarsi appena di un cenno sulle proprietà generali de' corpi e ridurre la scienza a' soli imponderabili, come molti pretendono. Le leggi del moto e dell'equilibrio saran sempre le leggi fondamentali di tutti i fenomeni: ed a queste leggi medesimè vediamo soggetti gli stessi imponderabili per cui è nata l'eletto-statica, l'eletto-dinamica ec.

ECCO PERCIÒ COME IL PECKET DIVIDE LA FISICA.

	- Proprietà generali de' corpi - Proprietà de' corpi solidi — de' corpi liquidi — de' corpi gassosi - Acustica - Calorico - Magnetismo - Elettricismo statico - Elettricismo dinamico - Luce.
1. ^a Parte — corpi ponderabili	
2. ^a Parte — Fluidi imponderabili	

2.° *Dello Spazio*. Agevole riesce ad ognuno il farsi le idee di lunghezza e di distanza; una lunghezza di sei piedi per esempio è cosa che di leggieri s'intende, e con pari facilità ci facciam l'idea della distanza che passa tra noi ed un punto qualunque dell'orizzonte, ed anche di quella che passa tra noi ed il sole o le stelle. In simil guisa facil riesce il farci l'idea della estensione in superficie, qual sarebbe quella di un ampio lago, o del mare, o in volume, come di un metro cubico di marmo o di pietra, di un edificio, o di un monte. Figuriamoci un metro cubico di marmo sospeso nel mezzo di una massa d'acqua: noi sappiamo, questo potersi torre, e tosto correre l'acqua ad empire lo spazio che esso occupava; ma supponghiamo per poco che l'acqua non vi corresse, e che in vece per un mezzo qualunque venisse ritenuta, o anche meglio che il cubo di marmo si annichilasse, altro di esso non rimanendo che i suoi sei lati, i quali avesser forza di mantenere l'acqua dalle sei parti corrispondenti; questo volume nel quale non v'è marmo, non acqua o alcun altra materia, è lo spazio, e questo spazio da prima occupato dal marmo lo possiamo del tutto privo di materia, considerare. È questo appunto quello che parecchi metafisici dissero *spazio puro*, e che i fisici spazio vòto hanno chiamato. Noi finora lo abbiamo considerato in piccola estensione, ma quello che dicesi di un sol metro può egualmente dirsi di volume maggiore. Possiamo infatti supporre che un monte dalla cima fino alla base si dilegui, e frattanto la nostra mente terrà ancora l'idea del volume, o vogliam dire, dello spazio che esso occupava. Nè poi diversamente andrebbe la cosa se dell'intero globo terrestre si ragionasse. E per immaginare il volume di questo non si dovrà maggior fatica durare di quella si richiede per pensare al volume di una palla da trucco, o da cannone.

Al di sopra del nostro capo sta l'atmosfera, ed al di sopra di questa il vòto del cielo. Potrà il vostro

pensiere elevarsi in quelle regioni , potrà stancarsi a percorrerle secondo tutte le direzioni , troverà in quegli spazi , disseminati alcuni corpi come la terra , alcuni astri su i quali potrà soffermarsi alquanto , ma quali distanze scorgerà tra questi, quale abisso troverà oltre di essi ! La volta celeste è una illusione , essa non è alcun che di solido, ma sia pure adamantina, il pensiero la penetra, si caccia al di là, e lo spazio continua oltre di questa ed anche oltre le stelle : allora si renderà certo esser cosa impossibile il porre confini allo spazio, perocchè per quanto grande voglia immaginarselo, potrà sempre considerarlo maggiore. Dunque lo spazio è indefinito per noi , e però in se stesso infinito. (1)

3.^o *Del tempo.* Si suole comunemente dire , acquistare l' uomo l' idea del tempo mercè l' osservazione de' fenomeni della natura. Così succedendo all' inverno la primavera, alla notte il giorno viene a prodursi in noi , alcuni dicono , l' idea della successione : l' acqua che scorre succede a quella che è già scorsa , la bassa all' alta marea , ed ecco la idea del

(1) Quest' ultima illazione non discende logicamente dalle premesse. Troppo dovrei allargarmi in parole se volessi toccare appena le tante diverse opinioni de' filosofi e de' fisici intorno alla idea dello spazio ed alla esistenza di esso. Chi non sa i pensamenti di Cartesio, di Clark, di Newton, di Condillac, degli Scozzesi, di Kant, e d' infiniti altri ? « Mi asterrò dunque di parlare della estensione pura » necessariamente una, necessariamente triplice nelle sue dimensioni, » oceano immenso in cui astretti sono a nuotare tutt' i corpi, come » lo è l' immaginativa ad immergervi tutti quelli che crea ; oceano » in cui hanno fatto naufragio le specolazioni di tanti sottili ingegneri. Lo spazio è il luogo de' corpi, che in esso veggonsi essere » e muoversi , come nel tempo veggiamo accadere tutt' i naturali » fenomeni , ma lo spazio puro non dee più confondersi coi corpi » che il tempo co' fenomeni che in esso avvengono. Lo spazio ed » il tempo si suppongono dal fisico come dati , ma egli si astiene » dal sottoporre alle sue ricerche queste concezioni sublimi, si familiari e sì ammirabili all' umano intelletto , che congiungono il » finito all' infinito, il mondo corporeo all' incorporeo, e sembrano » misteriose ed enigmatiche rivelazioni di quella eterna Immensità
Ove s' appunta ogni ubi ed ogni quando.

tempo. Ma al presente per noi non v' ha d' uopo di fenomeni esteriori , o di alcuna impressione prodotta sugli organi, per aver l'idea del tempo, imperciocchè avendo de' pensieri, ed essendo questi rivelati dalla coscienza , dobbiamo necessariamente avere l'idea della successione e della continuità, essendo successivo il nostro pensare. Vero è che questi fenomeni interiori non ci dan mezzo da numerare le ore, i giorni, e gli anni, ma avere la idea del tempo ed avere a' mano i mezzi per poterlo misurare , son cose assai diverse. Ogni moto potrebbe cessare, gli astri sospendere il loro corso, rimaner fisse le nubi , immote le acque , e frattanto in mezzo a questa universal quiete , noi sapremmo ancora potersi il tempo suddividere, tuttocchè sprovveduti di ogni mezzo atto a misurare cosiffatta suddivisione.

Le idee del tempo e dello spazio si rinvencono in tutte le nostre percezioni, in tutte le nostre idee ; il nulla è per noi una cosa inconcepibile , e quando ci studiamo di farcene un'idea dobbiamo almeno immaginare lo spazio ed il tempo (1).

4.° *Della materia e de' vari stati de' corpi.* L'idea dello spazio è completa ed è a se stessa sufficiente, vale a dire noi possiamo immaginare lo spazio senza esser costretti a supporvi entro alcuna cosa, ma da ciò non segue che questa sia una idea esclusiva, talchè con essa non potessimo alcun' altra associare, imperciocchè noi possiam ideare l'impenetrabilità nello spazio, ed ecco la materia. Allorchè dunque si dice, la materia esser fornita di due proprietà essenziali, l'estensione cioè, e la impenetrabilità si parla con poca esattezza, percioc-

(1) L'idea del tempo non ha recato minor molestia a' metafisici di quella dello spazio : Kant ne fece un modo della sensibilità interna , e Lucrezio fin da' suoi tempi cantò.

» Tempus item per se non est sed rebus ab ipsis

» Consequitur sensus , transactum quid sit in aevo,

» Tum quae res instet , quid porro inde sequatur.

chè queste invece di essere proprietà della materia ne sono la definizione (1).

In somma noi concepiamo la impenetrabilità e questa diciam materia (2).

Potendo noi immaginare lo spazio limitato o indefinito, possiam parimente figurarci limitata o indefinita la impenetrabilità, possiam considerarla in piccolo spazio come in una goccia d'acqua o in volume grandissima come nel globo terrestre. E qui cade in acconcio di fermare un' altra idea fondamentale: noi possiam considerare la impenetrabilità continua ed inseparabile, o discontinua e quindi separabile. La impenetrabilità inseparabile dicesi atomo. Nell' idea dell' atomo non s' include quella di dover esser grande o picciolo, come neppur quella di una determinata figura. Possiamo immaginare un atomo picciolissimo o grandissimo, di figura sferica, cubica, aguminata o di qualsivoglia altra che può creare la immaginazione. Noi però non sup-

(1) Si potrebbe forse dire con egual ragione che essendo l'estensione e l'impenetrabilità le sole proprietà essenziali alla materia, perciò queste debbono esser notate nella definizione, (V. Lamé Cours de Phys., e Piangiani ist. fis. chim.) e che le altre delle quali si parlerà fra poco son da considerare semplicemente come proprietà generali. Del resto ciò che l'autore dice corrisponde a quel che prima di lui avea pur detto il Galluppi, così scrivendo ne' suoi elementi di filosofia: « Non si parla con esattezza allorchè si dice: il corpo è esteso impenetrabile ec., si dee dire il corpo è l'estensione impenetrabile ».

(2) Dicesi impenetrabilità la incapacità di potere due corpi occupare lo stesso spazio nel medesimo tempo. Quantunque la impenetrabilità si percepisca insieme col corpo, pure alcuni fatti sembrano distruggerla. E per verità se tutt' i corpi, come si dirà, si possono comprimere, se in molti miscugli ed in parecchie combinazioni si ha nel composto un volume minore della somma de' volumi de' componenti, se in molti casi si ha assorbimento di un liquido o di un gas senza alcun sensibile aumento di volume, pare che la impenetrabilità ci sfugga, ma se si porrà mente alla porosità, che come si vedrà da qui a poco, è da considerare come generale proprietà de' corpi, non si durerà molta fatica a spiegare tutti questi fenomeni i quali, come dice il Biot, anzicchè distruggere la impenetrabilità mirabilmente la confermano.

*

ponghiamo affatto essere il mondo intero un grande atomo, e tutta la materia mondana di un sol pezzo, imperocchè veggiamo la terra e la luna esser due frammenti di materia distinti, ed alla superficie della terra scorgiamo generalmente i corpi infrangersi e le parti di essi disgiungersi, il che dietro la nostra definizione ci dimostra la terra non esser mica un atomo. Tocca poi all'esperienza d'istruirci sul rimanente, e tutt' i dati di questa ci guidano a conchiudere, non esser la materia indefinitamente capace di separazione di parti; ma esservi un certo limite molto più in là di quello assegnato a' nostri sensi; ove ritrovar si debbono particelle di grandezza finita del tutto inseparabili, le quali perciò veramente atomi son da reputare. Questa opinione sembra particolarmente dalle moderne scoperte venir confermata, ed è quella che ora è esclusivamente accolta. Noi dunque ammettiamo l'esistenza degli atomi come una verità fondamentale che ci dovrà servire quasi di regola nelle nostre investigazioni. La riunione di più atomi dicesi *corpo*. Avranno i corpi, generalmente parlando, maggiore o minor volume secondocchè maggiore o minor numero di atomi conterranno (1); essi appariranno diversi se gli atomi saran diversamente disposti; crescerà la differenza se gli atomi varieranno per figura e per grandezza, e finalmente se gli atomi differiranno per la loro intima sostanza, i corpi saranno essenzialmente diversi (2).

(1) Si deve intendere del volume reale e non dell'apparente.

(2). A tutti è nota la vecchia opinione sulla omogeneità della materia, la quale col nascere della chimica par ch'è sia volta in oblio. Secondo questa opinione la diversità de' corpi dipendeva unicamente dalla diversa modificazione che la materia avea ricevuto; talchè il sasso non per altro differiva dall'oro se non perchè in quello la stessa materia era modificata in una guisa, ed in questo di un'altra. Secondo l'autore la diversità de' corpi può dipendere o dalla varia disposizione degli atomi, o dalla varia figura e grandezza de' medesimi, o finalmente dalla diversa natura di essi. Infatti se come quasi tutt' i chimici insegnano, il carbonio puro non differisce essenzialmente dal diamante, nell'atto che appariscono molto

In un volume di un dato corpo qualunque, come per esempio in una sfera d'oro, non è da supporre esser tutti gli atomi disposti nella medesima guisa, e tutti tra essi ad eguale distanza, ma piuttosto par che convenga supporre, parecchi atomi essere insieme aggregati da costituire ciò che suol dirsi una molecola, ovvero una particella, che le molecole siano poi aggruppate per dare al corpo la sua peculiare struttura ed integrità. Onde due molecole generalmente parlando distano fra loro più degli atomi che le compongono. Ecco dunque il significato che conviene dare alle voci molecole o particelle le quali son quasi sinonime, sebbene alcune volte siano prese sotto di altro senso come quando dicesi: le molecole de' corpi sono scosse dall'urto, esse mettonsi in vibrazione ne' corpi sonori, dilatansi per lo calorico, son penetrate dalla luce ecc.; in questi casi non si vuole intendere a rigore di ciascun' aggregato di atomi in particolare, ma in modo generico delle piccole parti che si concepiscono essere nell'interno del corpo, e che colla mente separansi. Da ultimo allorchè si frange un corpo facciamo an-

diversi; questa diversità dovrà naturalmente dipendere dalla varia disposizione degli atomi (V. Journal de Physique T. 73. Annal. de Ch. et de Phys: T. 24). Del resto generalmente parlando forse potrebbe dirsi la differenza tra i così detti semplici chimici, dipendere dalla diversa natura degli atomi, e la differenza dei corpi composti risultare o dalla diversità dei componenti, come l'acqua e l'acido nitrico, o dalla diversa proporzione de' medesimi componenti come il proto-cloruro ed il devto-cloruro di mercurio i quali sol per la varia proporzione tra il cloro ed il mercurio appariscono differentissimi nelle proprietà.

Si noti da ultimo che l'autore segue l'ipotesi del, così detto, sistema *atomistico*, escogitato dagli antichi, ed ampliato da' fisici inglesi francesi ed italiani, il quale si oppone al sistema *dinamico*, accolto e sostenuto in Alemagna da coloro che seguirono Kant. Secondo quest'ultimo sistema la materia riempie lo spazio senza interruzioni, mercè le sue forze attrattive e repulsive, dal contrasto delle quali dipende la varia densità o solidità de' corpi, e la compressibilità e dilatabilità sono le proprietà che essenzialmente alla materia competono. Il Ficher per altro quantunque tedesco consiglia di non seguirne nè l'uno nè l'altro sistema, perocchè la intima natura de' corpi, egli dice, ci sarà sempre ignota (Ficher Phys: mec:).

che uso della voce *molecola* per indicare le minime parti di esso.

Noi distinguiamo tre differenti stati de' corpi, in mezzo alla grandissima varietà sotto la quale gli osserviamo : essi o son solidi, come le pietre i metalli ed i tessuti organici ; o sono liquidi come il mercurio l'acqua, l'alcool ed i liquidi degli esseri viventi ; o finalmente sono gassosi come l'aria. I liquidi ed i gas alle volte si chiamano con voce comune *fluidi*. Giova poi conoscere che un medesimo corpo può ritrovarsi alcune volte solido come il diaccio , altre volte liquido come l'acqua , e sovente gassoso come i vapori. In quali casi e sotto quali condizioni siffatto mutamento di stato possa avvenire, di corto diremo; ci basti per ora lo indicarli , essendo noti a chicchessia , ed anche perchè col porvi mente si acquista l'assuetudine di addentrarsi ne' corpi e persuadersi , esser questi unioni o aggruppiamenti di atomi , i quali son separati gli uni dagli altri e mantenuti a diverse distanze , e finalmente esser possibili che senza neppure toccarsi si possan comunicare pressioni e movimenti.

5. *Delle forze*. Se gli atomi fosser semplicemente avvicinati gli uni accanto agli altri , non solo non potrebbero produrre un corpo solido, ma neppur altro corpo della natura, perocchè farebbero appena un cumulo incoerente, ad un mucchio di polvere o arena perfettamente simile. Se un pezzo di ferro o di pietra, son corpi solidi e resistenti, convien che siavi qualche cosa, che mantenga gli atomi riuniti, fermando ciascuno al proprio luogo. I corpi si romperebbero senza sforzo veruno , o forse meglio non vi sarebber corpi, ma polvere , se gli atomi per qualche mezzo non fossero insieme collegati. Adunque in un pezzo di ferro considerar possiamo ciascun atomo stretto contro gli altri contigui in quella guisa appunto che un masso di pietra è spinto contro del suolo : e siccome per alzare la pietra richiedesi uno sforzo, così una forza maggiore o minore converrebbe impiegare per distaccare un ato-

mo, qualora si potesse discernere. Alle cause di cotali pressioni o vogliamo dire azioni scambievoli, che le diverse parti della materia le une sulle altre manifestano, si è dato generalmente il nome di *forze*: così v'ha delle forze le quali operano sugli atomi del ferro, gli spingono gli uni verso gli altri, fermando ciascuno al proprio luogo. Similmente v'ha delle forze le quali esercitano il lor potere sulle molecole di tutt' i corpi solidi, dando alla parte interna di questi una struttura speciale, ed una figura permanente alla parte esterna. Finalmente siccome ogni corpo ha una certa sua particolar maniera di essere, ed avvi tra le sue parti una dipendenza speciale, quindi si può inferire che quante volte molti atomi trovansi riuniti, spiegasi sempre tra essi una scambievole azione, mercè la quale si spingono vicendevolmente e prendono una data disposizione.

Anche i liquidi, quantunque mobilissimi, hanno questa dipendenza tra le parti contigue: così una goccia d'acqua suol prendere sempre una data figura, sia che si vegga su di una superficie, o forse meglio sulle piante ove disponesi in forma di rugiada, sia che si guardi pendente dalle parti estreme dei corpi. Questa peculiar figura che prende, è il risultamento delle azioni delle molecole che la compongono, perocchè se così non fosse, le molecole resterebbero indipendenti le une dalle altre e separatamente cadrebbero.

L'aria tuttocchè invisibile e sottilissima, non va esente da questa legge generale. Essa è impenetrabile perciocchè resiste allorchè vien chiusa in una vescica, in un pallone, o in altro recipiente qualunque. Dunque essa è ugualmente composta di atomi o di molecole, e le sue parti spiegano un'azione vicendevole le une sulle altre: e tra gli svariati fenomeni che valgono a comprovare siffatta verità, prenderemo quello della respirazione che può essere da ciascuno osservato. L'aria esterna entra nel polmone secondo che il petto si

allarga per riceverla ; in tal modo le molecole di fuori operano sulle molecole di dentro , quelle spingendo queste per costringerle ad entrare , e quando l'aria è entrata nel petto ; le molecole che trovansi al di dentro reagiscono le une sulle altre per riempirne tutta la capacità , precisamente come farebbero per espandersi nell' ampiezza di un vase anche grandissimo.

Coteste forze le quali pereunemente spiegano la loro efficacia entro de' corpi o tra le vicine molecole , o tra tutti gli atomi da' quali ciascuna molecola si compone , forze molecolari, o anche attrazioni molecolari vengon chiamate : potrebbero invece dirsi azioni molecolari o forze atomistiche, o anche forze costitutive dei corpi, perocchè esse veramente son quelle che danno a ciascun corpo la propria costituzione , e la sua peculiare maniera di essere. Avremo altrove occasione di esaminare se siavi una sola di così fatte forze , o ve ne siano più che fra lor si oppongono ora con pari efficacia, ed or ciascuna a sua posta diventando dell'altra maggiore o minore.

Oltre le forze molecolari sonovene anche delle altre di diversa natura. I corpi abbandonati a se stessi cadono ; i fiumi perennemente scorrono ; il sole sembra che giri sempre intorno alla terra. Ecco alcuni movimenti che noi osserviamo , e frattanto giudichiamo fra noi stessi poter la materia esistere senza che tali moti fosser prodotti. Questi dunque son da reputare effetti accidentali di certe date cagioni. Queste cause mercè le quali i corpi passan da un luogo in un altro , ovvero ricevono un *moto* di traslazione vengon dette anche *forze* o *potenze*. Queste al certo sono analoghe alle forze molecolari le quali in taluni casi producono anche de' moti di traslazione ; ma ciò non ostante soglionsi generalmente da queste distinguere come appresso vedremo.

6. *Della quiete e del moto* — Le idee della quiete e del moto son , come l'idea della impenetrabilità , semplici e primitive , le quali non possono

esser decomposte nè definite. Ciascuno sa in che consiste il moto e la quiete si può far sì che tali cose vengano intese in un modo più generale e secondo, ma non si può in alcuna lingua spiegarle se non per vocaboli sinonimi. Tosto che noi ci abbiain formata l'idea dello spazio e di noi stessi, immediatamente ci consideriamo come nel centro dello spazio infinito che all'intorno di noi sviluppassi, e veggiam nascere in noi le idee di direzione, di distanze e di situazioni relative. È forza guardare il cielo per *orientarci* relativamente al sole ed agli astri, ma il sentimento di noi stessi ci basta per *orientarci* relativamente a noi; e se non vogliamo tutto confondere, distingueremo certamente lo spazio che abbiamo d'innanzi da quello che è al di sopra del nostro capo, o sotto i nostri piedi, nè confonderemo lo spazio che abbiamo dal lato destro con quello che abbiamo dal lato sinistro. Colui che abbia menato sempre i suoi giorni fra le tenebre, sia sulla superficie della terra, sia nel fondo di sotterranea caverna, ignorerà l'oriente, l'occidente o i poli del mondo, cose che si riferiscono alla vista del cielo, ch'ei non conosce; ma egli non ignorerà punto lo spazio, anzi col pensiero lo partirà in diverse regioni che a se stesso riferisconsi; vale a dire in regioni laterali, anteriori e posteriori, alte e basse. Noi possiam prescindere dalla esistenza della materia ma non dalla nostra, ed avendo acquistata l'idea dello spazio, possiamo di leggieri immaginare che nessun cambiamento avvenga in noi o intorno a noi; ed ecco l'idea della *quiete* e della *quiete assoluta*; perocchè dicesi quiete assoluta la permanenza del corpo nello stesso luogo dello spazio. In simil guisa facile ci sarà il figurarci un cambiamento di luogo, perocchè possiamo supporre di andare innanzi o indietro, da un lato o dall'altro, sopra o sotto per quelle regioni ideali, ed in tal caso noi abbiain l'idea del moto e del moto assoluto, perciocchè dicesi moto assoluto il cangiamento di luogo di un corpo che avviene realmente nello spazio.

Nel moto conviene por mente a due cose essenziali ; alla sua direzione , ed alla sua lentezza o rapidità , che non si dee confondere con la velocità della quale di corto parleremo. Se il *mobile*, o il corpo che muovesi va per una linea retta , il moto dicesi rettilineo, e la retta percorsa è la direzione del moto; al contrario, se il mobile percorre una curva qualunque, il moto dicesi curvilineo, e si suole anche dire, la curva che descrive, essere in generale la direzione del moto. Ma in quest' ultimo caso per esprimere la sua direzione in un istante qualunque , conviene por mente che tra due punti di una curva , si possono menare infinite tangenti o linee rette le quali toccan solo la curva ; ed allora il mobile trovandosi in pari tempo sulla tangente e sulla curva , si dice , la tangente sulla quale trovasi, essere la direzione del suo moto. Onde nel moto curvilineo il mobile cambia continuamente direzione, e se abbia descritto un intero cerchio sarà veramente passato per tutte le direzioni possibili. Per ciò che riguarda la lentezza o rapidità del moto dicesi tanto in meccanica, quanto nel comune linguaggio, che un moto è più lento quando il mobile percorre meno spazio in un dato tempo , e che è più rapido quando nello stesso tempo scorre spazio maggiore. Solo conviene avvertire che dati due moti , quello che sarebbe più lento , prendendo in considerazione per esempio lo spazio percorso in un minuto secondo , potrebbe essere il più celere se si considerasse lo spazio percorso in un' ora o in un giorno , perocchè di leggieri si comprende, il moto potersi col tempo accelerare o ritardare.

La quiete assoluta ed il moto assoluto son semplici vedute di nostra mente , niente essendovi in questo mondo di assoluto per noi , essendo ogni cosa relativa e condizionale : in guisa che tutti gli obbietti che sulla superficie della terra sembranci assolutamente immobili son in una quiete relativa. Gli alberi son in quiete considerati in relazione a' monti , e questi re-

lativamente al suolo ; ma gli alberi ed i monti sono insieme con noi trasferiti nella grande orbita del nostra pianeta , e tutti uniti in un minuto secondo percorriamo uno spazio dieci volte maggiore di quello che nello stesso tempo percorre una palla di cannone. E tuttochè andiamo così veloci per lo spazio celeste non possiamo giudicare di nostro moto assoluto , perciocchè converrebbe sapere se il sole stia fermo nel centro del sistema planetario. Or sembra assai probabile, il sole portar seco i pianeti, come la terra la sua atmosfera , le sue piante, i suoi monti. E da riguardare il sole come un pianeta impercettibile di un altro sole intorno al quale compie il suo giro , e questo sicuramente aggirerassi intorno ad un altro, senza che sia possibile neanche d'immaginare un centro fisso intorno al quale tutti eseguir debbano le loro rivoluzioni.

7. *Dell'inerzia.* In due modi si posson riguardare le forze che operano sulla materia inorganica. Puossi in prima supporre , aver esse un'esistenza propria, cioè che sian fuori della materia, ed indipendenti da essa ; o pure può dirsi che siano alla materia inerenti , ed in origine date ad essa come proprietà permanenti. Queste due ipotesi riduconsi in ultimo risultamento a dire la stessa cosa ; ma sia qualunque l'idea che si voglia adottare intorno alla origine ed alla maniera di esistere delle forze , resteranno sempre veri parlando di queste, e della materia, due principi fondamentali nascenti da tutt'i fenomeni che la natura produce sotto i nostri occhi , e che da tanti secoli rinnova perpetuamente. E siffatti due principi costituiscono ciò che dicesi *inerzia* della materia. Il primo è che ogni forza operante sulla materia, se cessa di operare dopo un dato tempo , questa dura nel suo stato di quiete o di moto. L'altro principio è , che tutte le forze procedono secondo alcune leggi invariabili. Dal primo degli enunciati principj segue , un atomo di materia da se non potersi muovere , nè alterare il moto ad esso comunicato : e se tra due atomi

addiviene che l'uno possa porre l'altro in moto, mercè l'attrazione, o generalmente per le azioni scambievoli, come interviene a' corpi abbandonati a se stessi ne' quali s'ingenera un moto per l'attrazione della terra, allora dal secondo principio risulta, un cotal moto prodursi secondo una determinata legge, la quale per quanto sia a memoria d'uomo, non venne mai alterata. E però tutt' i cambiamenti che accadono alla materia sia sullo stato di essa, sia nel suo moto o nella sua quiete, convien che a certe cause, o forse particolari ciò attribuiamo; qualche volta a nuove forze sopravvenute in un attimo, e spesso anche a forze permanenti che continuano ad operare secondo le immutabili leggi alle quali van soggette. Se un corpo si rompe o si muove, se si rende più duro o più molle, se diven caldo o freddo, se divien liquido o si scioglie in vapore, ciò avvenir deve mercè di una causa la quale ha prodotte siffatte modificazioni. Non è mai accaduto di vedere che una pietra siasi dà se spezzata o inalzata dal suolo, o siasi fatta più dura o più molle, calda o fredda, liquida o ridotta in vapore, senza alcuna causa. Se si tagli il filo cui si mantien sospeso un corpo, questo si vedrà cadere con moto accelerato. Richiedeasi una causa per farlo cadere, e questa operando in tutto il tempo della caduta, accelera il moto mercè ripetute azioni. La terra percorrendo la sua orbita intorno al sole soffre delle continue variazioni, ora accelerando ora ritardando il suo moto, e frattanto in queste variazioni non v' ha niente di accidentale di fortuito, o d'imprevisto. È sempre la stessa causa che ingenera tali moti, ma è una causa che varia nella sua efficacia, e per la legge di queste variazioni l'equilibrio del mondo si conserva (1).

(1) Taluni han detto, consistere l'inerzia in quella tendenza che hanno i corpi a rimanere nello stato nel quale trovansi, sia di moto, sia di quiete, ed altri definiscono l'inerzia per la indifferenza che ha la materia tanto per lo moto, quanto per la quiete. I primi han fatto della inerzia una forza, per la quale la materia rea-

SUPPLEMENTO 1.^o

CHE COSA SIA SPIEGARE UN FENOMENO.

La voce fenomeno è di greca origine, e significa apparizione. I fisici ordinariamente intendono per fenomeno un qualunque cambiamento avvenuto nello stato di un corpo, e che per conseguenza esser deve un moto; o l'effetto di un moto del quale conviene rin-

gisce contro le forze che tendono a metterla in moto o in quiete. Ecco sul proposito ciò che scrive il dotto Pr. Gerbi. « Taluno ha creduto che questa inerzia sia una forza reale inerente alla materia, e che presenti una resistenza effettiva alla forza che agisce sul corpo per rimuoverlo dal suo stato. Ma altri considerandola sotto un aspetto ben più semplice, opinano non esser ella che la passiva attitudine della materia a ricevere la forza che produce la mutazione del suo stato; e l'effetto attribuitole non essere che la comunicazione della forza da corpo a corpo; per la quale comunicazione il corpo agente ne perde, il paziente ne acquista una porzione eguale. Il corpo paziente non diminuisce la forza dell'agente, distruggendola con opporre una resistenza, ma solo ricevendola in se; come per es. un vaso vuoto posto in comunicazione con un vaso pieno d'aria o di altro fluido elastico, diminuirebbe il fluido contenuto in questo vaso con riceverne, non con distruggerne una porzione. È vero che percuotendo con la mano un corpo in quiete, o in un moto men celere di quello della mano; o muovendo con uno strumento qualche corpo, ne sembra sentire una resistenza. Ma ciò non è che una illusione; e intanto restiamo illusi in quanto si produce sulla mano o immediatamente, o per mezzo dello strumento quella medesima impressione che si produrrebbe, se, essendo essa in quiete, venisse il corpo ad urtarla, o immediatamente, o per mezzo dello strumento, con un moto in senso opposto. Supponete in fatti che vogliate dare ad un corpo 10 gradi di moto, urtandolo con la mano, o che nella stessa guisa vogliate arrestarne un altro simile animato anche da 10 gradi di moto, voi tanto nell'uno quanto nell'altro caso dovete provare la stessa sensazione, perchè la stessa forza dovete impiegare, ma il moto nel primo caso trovasi nel corpo urtato e non è distrutto; al contrario nel secondo caso la forza si è distrutta dall'altra opposta; nel primo caso dunque non vi è stata resistenza, ma si bene nel secondo. Quel che dunque da altri si è detta forza d'inerzia deve dirsi una illusione nascente dalla impenetrabilità della materia, e dalla comunicazione del moto.

venire la cagione. La causa di un fatto è sempre un altro fatto, ma giunger si dee a certi primi fatti oltre i quali non si può andare, e da quali convien che si parta nella spiegazione de' fenomeni della natura. Per natura poi, per non dir di tutt' i suoi significati, comunemente intendosi tutto il creato sensibile, e spesso anche la segreta cagione produttrice de' fenomeni, nel quale ultimo caso essa altro non è, secondo dice Bartoli, che *la visibile esecuzione della invisibile mano di Dio*. Il fisico per arrivare alla spiegazione de' fenomeni si studia prima di conoscere le leggi de' medesimi. Ma non sempre agevole riesce questa indagine, imperciocchè non di rado i fenomeni risultano da molte cause simultaneamente operanti. Per la qual cosa conviene saper distinguere la parte dell'effetto dovuta alla forza che si vuole esaminare. In questo caso il fisico ritrova nella esperienza un valido appoggio, perciocchè per essa ci separa, per dir così, gli effetti, scomponendo o alterando i corpi, e, quasi interrogando la natura, e costringendola a rispondere alla curiose sue richieste. Altre volte egli fa tesoro della osservazione, la quale consiste nell' esaminare i fenomeni come naturalmente avvengono, nè questa suole della esperienza meno utile riuscire, perocchè sovente il fisico suole per mezzo di essa coglier la natura quasi sul fatto, e strapparle i più belli segreti. Del resto in certi casi la via dell' osservazione è unica, come in altri unica è la via della esperienza. Ma tanto l'osservazione quanto l'esperienza estendono le loro conclusioni mercè l'analogia, conviene però usare di questa col maggior senno del mondo, giacchè come appositamente ci avverte *Bacone Demonstratio longe optima est experientia; modo haereat in ipso experimento. Nam si traducatur ad alia quæ similia existimantur, nisi rite et ordine fiat illa traductio, res fallax est* (Nov: Org.)

Quando poi le leggi sonosi trovate co' mezzi sperimentali, vengon sovente tradotte in linguaggio matematico: allora mercè le formole analitiche, si ricavauo

tutte le conseguenze che derivar possono da coteste leggi supposte vere, e la concordanza de' risultamenti del calcolo e della esperienza o della osservazione è un valido motivo per giudicar vera la supposta legge, e dopo molti confronti de' risultamenti matematici con gli sperimentali si può esser certo che la legge ritrovata sia vera. Una legge con tutte le conseguenze razionali che ne derivano forma una teoria; e generalmente dicesi teoria fisica l'insieme delle leggi mercè le quali si giunge a spiegare la dipendenza che ha luogo tra le cause e gli effetti, in una data generazione di fenomeni. Ora egli è ben naturale il considerare che una teoria può risultare come da tanti corollari di una sola legge a scovrir la quale la sola ragione ci è guida, ed in questo caso l'analisi matematica diviene assolutamente necessaria. Il geometra partendo da una ipotesi particolare sulla causa generale cui sembra esser guidato dalla conoscenza de' fenomeni, traduce questa in linguaggio algebrico, e poscia osserva se i risultamenti analitici ottenuti dalle formole sono in armonia con quelli per esperienza di già conosciuti: nè di ciò deve restarsi contento, ma deve anche vedere se queste formole indicando altri fenomeni non ancora conosciuti, questi restano dall'esperienza confirmati. Ecco i grandi e vallevoli mezzi che offrono le scienze esatte a' cultori delle scienze naturali. Diverse regole di filosofare nella ricerca delle cause dava il Newton, e molte anche ottime si raccolgano dalle opere del Galilei, ove potrà studiarle chiunque voglia formarsi una logica speciale per bene ragionare nella spiegazione de' fenomeni della natura.

CAPO II.

PROPRIETÀ GENERALI DE' CORPI.

Divisibilità. — Porosità. — Compressibilità. — Elasticità. — Dilatabilità.

8. Proprietà generali de' corpi diconsi quelle che son comuni a tutt' i corpi sian solidi, liquidi, o gassosi. Di tali proprietà quelle che convien conoscere nel cominciare la fisica sono.

- 1.° La divisibilità ;
- 2.° La porosità ;
- 3.° La compressibilità ;
- 4.° L' elasticità ;
- 5.° La dilatabilità.

Osserviamo a prima giunta che queste dipendono dalla maniera onde sono conformati i corpi e dalla interna disposizione delle particelle costituenti i medesimi. Se i corpi non fosser composti non sarebbero nè divisibili , nè porosi , nè compressibili , nè aver potrebbero quella forza di ripristinamento nella quale consiste l' elasticità , nè il potere di aumentare di volume, nel che consiste la dilatabilità. E però non sarebbe ben detto, esser queste proprietà generali della materia , perciocchè esse non possono in alcuna maniera competere agli atomi , considerati a modo nostro d' intendere , e secondo gli abbiamo non ha guari definiti : queste dunque son proprietà degli aggregati e non già degli elementi.

9. *Divisibilità.* Ogni corpo può essere diviso in più parti , e queste in altre parti minori , finchè poi sfuggano a' nostri sensi ovvero a' nostri strumenti. Questa proprietà generalmente considerata da ognun si comprende : non avvi infatti chi non sappia , le spranghe di metallo rompersi sotto una certa pressione , spezzarsi le pietre a' colpi di martello , ed il diamante, il più duro ed inalterabile fra i corpi conosciuti , poter esser ridotto in polvere finissima capace di forbirne la

superficie. Ma quello che noi dobbiam cercare , e che ha dovuto muovere la curiosità de' più antichi osservatori , è appunto di conoscere se tutt' i corpi sian realmente divisibili , e se tutti lo siano all' estremo grado di sottigliezza cui possono arrivare le nostre percezioni.

Trattandosi de' corpi liquidi come l' acqua , egli è chiaro potersi dividere e suddividere in parti sì tenui, da essere le minime che il tatto possa sentire , e l' occhio vedere , imperciocchè osservando tali corpi noi non ravvisiamo sulla superficie di essi alcuna ineguaglianza, ed immergendovi entro la mano non ci riesce di distinguere col tatto le molecole componenti i medesimi , nella guisa appunto che sentiremmo fra le dita le particelle di arena.

Ma parlando de' corpi solidi non possiamo con eguale facilità, della grandezza o tenuità delle ultime particelle, giudicare. Non v' ha alcuna ragione per asserire non esservi in natura alcun corpo il quale diviso fino ad un certo limite , non sia più capace di ulteriore divisione, e tale che le sue parti elementari, tuttochè alquanto grosse e palpabili , o almeno ancor molto sensibili , non possano affatto essere scomposte, o in qualunque modo alterate. E però gli antichi ebber somma cura di sottoporre per quest' oggetto ad esperienza tutt' i corpi da essi conosciuti: ed i moderni che han ricavate dalle viscere della terra molte nuove sostanze , non han mancato di osservare fino a qual termine siano esse divisibili. E dopo tante esperienze , han potuto conchiudere , pe' corpi conosciuti non esservi alcun limite sensibile cui arrestar si debba la divisibilità. Ma questa conclusione non si può rigorosamente parlando applicare a tutt' i corpi esistenti ; imperciocchè se l' esperienza sola ci ha potuto menare a questa conclusione , la quistione deve intendersi risolta solo per que' corpi su i quali furono l' esperienze praticate.

Per la qual cosa non è da reputare assolutamente impossibile che un giorno , dalle viscere della

terra mandin fuori i vulcani delle sostanze, gli atomi delle quali sianò di una sensibil grandezza, e potrebbe anche darsi che corpi cosiffatti si ritrovassero sugli altri pianeti.

Senza venìr quì ripetendo tutte le esperienze che sonosi praticate su i differenti corpi, recheremo qualche esempio per dimostrare da una parte, co' nostri organi esser atti a percepire i corpi fino ad un certo punto di picciolezza, dall' altra, le ultime particelle che cominciano a sottrarsi dal nostro sentire, essere ancor composte di numero grandissimo di parti distinte.

Il senso del tatto e quello della vista ci fan conoscere la grandezza degli oggetti, l'odorato ed il gusto avvertonci solo della presenza di essi, senza darci alcuna istruzione intorno alla figura de' medesimi: ed è da osservare che per mezzo dell' udito, istrumento sensibilissimo pe' ciechi i quali mirabilmente ne usano per giudicare delle distanze, non possiamo mai giungere ad acquistare l' idea di una data figura, o di una certa grandezza o picciolezza.

Il senso del tatto è sparso per tutto il corpo, non solo nella superficie, ma anche al di dentro; ma nelle diverse parti diversamente si appalesa. Dalla parte interna abbiamo delle vaghe sensazioni de' corpi che ci toccano o ci offendono, e se il tocco è alquanto continuato, sparisce la sensazione locale, e solo ci resta una sensazione generale o una maniera di essere più o meno incomoda, della quale, nè la sede, nè la causa più distinguiamo. E per una simile ragione noi non sentiamo al di dentro del nostro corpo le parti solide come le ossa, nè le parti liquide come il sangue, anche mentre con velocità grandissima esegue la sua circolazione. Dalla parte esterna ogni punto della superficie può sentire distintamente il toccar de' corpi estranei, ma la mano poi è il vero organo del tatto; si sa che per essa noi ci facciamo l' idea de' contorni e delle forme geometriche de' corpi, e che per mezzo di essa noi possiam percepire gli oggetti i più delicati. La mano

esercitata di un cieco può su di una superficie levigata sentire i granelli di polvere talmente tenui, che molte centinaia di questi posti gli uni presso gli altri, farebbero appena la lunghezza di una linea. Una mano meno esercitata può distintamente sentire un filo di seta o di lana di un solo elemento, e pure questi fili ordinariamente hanno le seguenti dimensioni.

Diametri in millimetri.

Lana comune . . . $0^{\text{mm}}, 05$ o $\frac{5}{100}$ di millimetro

Merinos $0^{\text{mm}}, 02$ o $\frac{2}{100}$

Seta $0^{\text{mm}}, 01$ o $\frac{1}{100}$

I peli della maggior parte delle pelli tenute in maggior pregio, come quelle di castoreo, di armelino, stanno per sottigliezza tra il merinos e la seta, e la maggior parte delle varie specie di lane, vanno tra il merinos e la lana comune. Questi fili sottilissimi i quali costituiscono quasi le minime grandezze che possiamo per mezzo del tatto percepire, sono de' corpi assai composti: ognuno di essi ha una peculiare struttura che conoscer possiamo, mercè la vista; contiene ciascuno diversi elementi i quali son preparati dalla nutrizione, segregati dagli organi, e che la chimica può nuovamente separare e porre in chiaro.

Il vetro il quale è un prodotto dell' arte, ed è composto di parecchie differenti sostanze può esser ridotto in fili come la seta. Per farne l' esperienza si prenda un tubolino di vetro di piccolissimo diametro e si adatti sulla fiamma di una candela con la sua parte media, e quando questa è riscaldata fino al primo grado d'incandescenza (*rouge-blanc*), si tiri dalle parti estreme come se si volesse separare le due metà; in questo mentre si formerà un filo della lunghezza d' un braccio circa, fuso come la seta, e quasi egualmente flessibile, e frattanto questo filo di vetro forma

un tubo avente le sue pareti ed il suo meato per lo quale può passare un liquido.

Noi potremmo spingere molto più avanti l'esperienza che riguardano la nostra sensibilità organica, se i corpi non divenissero soverchiamente flessibili quando son ridotti in fili troppo tenui. Se per esempio un filo mille volte più sottile di un fil di seta potesse avere la rigidezza di uno strale, bello sarebbe l'osservare l'effetto delle sue punture sulle diverse parti della pelle; si conoscerebbe sicuramente che uno strale di questa natura potrebbe attraversare il nostro corpo da parte a parte senza produrci alcuna sensazione, e senza alterare in modo veruno le funzioni della vita.

Il pulimento che ricevono i corpi è un'altro argomento della divisibilità della materia; ed il toccar delle superficie levigate è un'altra pruova de' limiti assegnati al senso del tatto.

L'acciaio ben levigato, i metalli, il diamante, e le pietre preziose, per la mano, sembrano la stessa cosa; toccando questi diversi corpi altro non sentiamo che una superficie geometrica, e frattanto tutte queste superficie son lavorate con la finissima polvere dello smeriglio o del diamante, ed ogni granello di polvere ha dovuto farvi un solco proporzionato alla propria grandezza: ecco perciò alcune cavità o prominenze le quali col tatto non possiam sentire.

Le ultime particelle di materia che sfuggono al tatto, possonsi ancora con la vista percepire. L'occhio vede sulla pietra paragone le particelle d'oro che servono per saggiarlo, senzacchè la mano la più sensibile potesse ravvisarne la presenza. Le bolle di sapone le quali vestonsi sovente de' più vaghi colori, son sottilissime lamine d'acqua; la grossezza delle quali fu dal Newton misurata: esse verso la parte superiore hanno ordinariamente $\frac{1}{20000}$ di millimetro di grossezza, e riduconsi ad $\frac{1}{100000}$ allorchè, poco prima di rompersi, mostrano una macchia nera. Le ali trasparenti degl'insetti hanno quasi una egual grossezza, e però

esse sì adorna de' medesimi colori. Finalmente le piccole lamine di vetro soffiate alla lampada hanno, con la egual sottigliezza, i colori medesimi, imperciocchè è una legge generale di tutt' i corpi trasparenti, che essi debbansi vestire de' più vivi colori allorchè sian ridotti in lamine della grossezza di un centomillesimo di millimetro; ma se riduconsi più sottili divengono invisibili. Una bolla di sapone le cui pareti fosser grosse solo $\frac{1}{2000000}$ di millimetro non si vedrebbe affatto per alcun mezzo, ancorchè avesse un piede di diametro.

Riguardo a' corpi che non si estendono in superficie, e che son grandi per una sola dimensione, quali sarebbero i fili di metallo o i filamenti organici, riuscirebbe assai difficile di assegnare fino a qual termine siano essi visibili ad occhio nudo. Questo termine dipende dalla perfezione dell' organo e dal grado di luce, ma per mezzo delle lenti o de' microscopi, senza esser molto esercitato, e senza avere un organo perfettissimo, si posson distintamente vedere i fili del diametro di circa una millesima parte di un millimetro.

È noto, nelle arti usarsi de' fili di rame, di ferro, o di argento sottili quanto un capello. Lo stiramento necessario per passarli per la trafilatura, non permette di farli più sottili, altrimenti si spezzerebbero, ma per mezzo di alcuni procedimenti ingegnosi, applicabili solo a certi metalli, si giunge a fare de' fili più fini di quelli della seta. Il dottor Wollaston ha fatto de' fili di platino aventi il diametro di $\frac{1}{2500}$ di millimetro, vale a dire tali che un fascetto di 140 di questi fili farebbe la grossezza di un filo di seta di un solo elemento. Sebbene il platino sia il più pesante di tutt' i corpi conosciuti, pure un filo di questi lungo 300 piedi avrebbe appena un grano di peso. Per giungere a questo punto che sembra l'estremo cui possano arrivare le arti, il dottor Wollaston prende un filo di platino della grossezza di $\frac{1}{100}$ di pollice inglese e lo fissa nell'asse di una forma cilindrica avente $\frac{1}{4}$ di

pollice di diametro, empie la forma di argento fuso, ed in tal guisa ottiene un cilindro di argento che ha l'asse di platino: facendolo passare per trafilà, i due metalli si distendono egualmente ed i diametri serbano gli stessi rapporti; finalmente quando il filo composto de' due metalli è giunto al massimo grado di sottigliezza, si pone a bollire nell'acido nitrico, il quale scioglie l'argento; lasciando scoperto il filo di platino.

Potendo la materia assottigliarsi conservando una certa superficie, come accade nelle bolle di sapone, o conservando una certa lunghezza, come avviene nei fili di platino, è chiaro potersi attenuare egualmente secondo tutte le dimensioni. Da tuttociò noi giudicar possiamo, tutte le particelle che ancor percepiamo, esser molto composte: ma il regno degli esseri organici più chiare pruove ce ne somministra. È ormai comprovato, non essere il sangue un liquido uniforme quale apparisce alla nostra vista, ma essere composto di un prodigioso numero di globetti nuotanti in un liquido speciale detto *siero*. Una tale scoperta fu fatta quasi contemporaneamente dal Malpighi in Italia, e dal Leenwenhoeck in Olanda verso il 1660, circa quarant'anni dopo che Harvey ebbe dimostrata la circolazione del sangue (1).

Questi globetti sono sferici nel sangue dell'uomo ed in quello de' mammiferi, in quello degli uccelli e de' pesci sono allungati. Le dimensioni de' medesimi variano a tenore delle specie: i più grandi che siansi osservati sono quelli del sangue del *callitriche* d'Africa, i quali giungono ad $\frac{1}{1.5}$ di millimetro; i più piccioli si rinvencono nel sangue di capra, arrivando appena ad $\frac{1}{3.5}$. I globetti del sangue umano hanno una grandezza media corrispondente ad $\frac{1}{1.5}$ di millimetro. Con l'aiuto di questi dati si può conoscere,

(1) Il Colombi di Cremona, e dopo di lui il Cesalpini parlarono i primi della circolazione. V. Monti Prolusioni.

in una goccia di un millimetro cubico; la quale potrebbe star sospesa alla punta di una spilla, esservi quasi un milione di questi globetti. Generalmente in tutti gli altri mammiferi le dimensioni de' globetti sembrano contenersi tra i due ultimi limiti. Questi globetti non son mica degli atomi, perocchè le azioni chimiche possono scomporli e ricomporli: nè poi si potrà mettere in dubbio la composizione dei medesimi, quando si vorrà por mente, che essi si dividono in molte parti, nel servire alla nutrizione, imperciocchè le fibre de' muscoli e quelle degli altri tessuti si compongono di globetti, da quelli del sangue differentissimi, e di grandezza sempre minori.

Finalmente v'ha degli animali interi la cui grandezza eguaglia quella de' globetti o delle più picciole cose che noi possiamo percepire. Ci è dato è vero di vederli ed esaminarli, ma sono de' minimi per la nostra vista, e gli oggetti più piccioli di questi, non hanno pe' nostri sensi grandezza o misura: di qui comincia l'infinito in picciolezza ove si slancia il nostro pensiero senza trovare un termine per arrestarsi⁽¹⁾.

Oltrepassando questo limite della sensibilità degli organi, non si deve conchiudere, il resto essere ipotesi e congetture; imperocchè questi animalucci sono esseri essenzialmente composti di parti; essi sono dotati d'organismo, poichè hanno vita e moto; debbono essere di sensi forniti, poichè hanno e forza ed istinto. Ne' fluidi ne' quali vivono, eseguono de' moti rapidi e vari, come i pesci; diriggonsi verso di un punto, evitano e talvolta superano anche gli ostacoli, hanno finalmente bisogno di nutrimento e vanno cercarlo e sceglierlo. Ci verrà fatto di conoscerli allorchè tratteremo dell'ottica, i costumi delle infinite classi degli esseri visibili non essere men piacevoli ad osser-

(1) Credo essere inutile il ripetere gli argomenti recati da' vecchi fisici per provare e per combattere la divisibilità della materia all'infinito, e per sostenere la semplicità o la composizione de' primi elementi de' corpi, essendo cose note a chicchessia.

vare, di quelli delle classi maggiori: ma per ora possiamo conchiudere, negl'individui impalpabili delle ultime classi, esservi delle parti distinte, cioè, alcune dure altre molli; delle maniere di articolazioni pe' moti, ed alcuni meati pe' liquidi; finalmente in sì piccoli volumi aver luogo una nutrizione in tutte le parti, ed una necessaria circolazione. In tal modo il ragionamento continua a fare aperta la divisibilità anche dopo che i sensi hanno finito di attestarcela; ed essendo da tutt' i fenomeni chimici indotti ad ammettere l'esistenza degli atomi, così dobbiamo in ultimo conchiudere; esser questi di gran lunga minori delle ultime particelle che o per mezzo de' sensi i più esquisiti, o mercè de' più esatti istrumenti possiam percepire.

10. *Porosità.* Gl' interstizi che trovansi tra le parti di un corpo diconsi *pori*. Que' diversi buchi che si osservano nella spugna non sono altro che pori di grandi dimensioni; le maglie più strette che formano il tessuto della medesima, sono de' pori alquanto minori, finalmente tra queste maglie, e le fibre che le compongono vi sono degli altri interstizi, i quali sebbene piccoli a segno da essere invisibili, anche pori si chiamano. Quindi è che quando noi consideriamo una spugna di un determinato volume, come per esempio di un decimetro cubico, possiamo col pensiero cacciarci nella intima composizione di essa, e nella intera sua estensione considerare lo spazio occupato dalle fibre della medesima, e quello irregolare e sinuoso che non rimane occupato; dobbiamo anche riflettere che ogni cosa, sia pur sottile quando un filo di ragno, è composta di parti distinte, e che queste parti son le une dalle altre separate non altrimenti che le fibre.

Il volume occupato dalla sostanza del corpo dicesi *volume reale*: lo spazio che il corpo sembra occupare, limitato dalla sua forma esterna dicesi *volume apparente*. E però il volume apparente diminuito del volume reale dà il volume di tutt' i pori insieme presi.

Quando alcuno stringe una spugna, il volume apparente di questa si approssima sempre più al volume reale; ma non si potrà mai comprimerla a segno da non far rimanere alcuno spazio tra le parti di essa. Segue da ciò, potersi agevolmente comprendere in che consista il volume reale, ma non esser possibile il determinarlo; e però quando noi parliamo del volume, si dee sempre intendere dell'apparente. Quello poi che diciamo di una spugna può egualmente dirsi di ogni altro corpo, sia qualsivoglia la sua natura, avendo osservato, parlando della divisibilità; esser tutti composti di parti capaci di poter esser separate, e però che si tengono ad una certa distanza le une dalle altre (1). Dunque tutt' i corpi sono veramente fatti come la spugna. L'acciaio ed il diamante che sono i corpi più duri; l'oro ed il platino che sono i più densi, hanno anche un volume apparente; conviene cacciarsi col pensiero entro la massa di questi, per ravvisare tra gli atomi di essi degli spazi di gran lunga maggiori degli atomi medesimi.

Considerando la porosità in questo senso ampio, può ben dirsi, come comunemente si suole, esser porosi tutt' i corpi; ma se si vuole intendere di quella porosità mercè la quale si offre un passaggio a' liquidi o a' fluidi, non sarà più vero che tutt' i corpi sono porosi, perciocchè parecchi ve n'ha attraverso dei quali, non può trapelare alcun fluido, sia quanto si

(1). Ignorando noi la figura degli atomi e la maniera secondo la quale dispongonsi, non è ben fatto il dedurre la porosità dalla divisibilità. Il perchè i fisici son ricorsi all'osservazione ed alle esperienze per conoscere se tutt' i corpi sian porosi, e percorrendo i tre regni della natura han dimostrato essere la porosità una proprietà generale della materia. E per fermo la sola proprietà che hanno i corpi di dilatarsi all'azione del calorico non prova forse la porosità de' medesimi? E poi il marmo che si colora internamente aspergendone la superficie con aleoot colorato, la pioggia di mercurio nella macchina pneumatica, l'inchiostro simpatico ec: non dimostrano egualmente la porosità? Secondo Laplace, in ogni corpo il volume reale è sempre minore dello spazio non occupato che forma i pori.

voglia sottile. Questa porosità che permette il passaggio a' corpi estranei è quella che importa di conoscere per ora ; e noi farem vedere con alcuni esempi , e con alcune esperienze, esservi molti corpi, anche tra i più densi i quali s'imbevono di certi fluidi.

I tessuti i quali sono un prodotto delle arti , non essendo altro che un intralciamento di fibre , non dee recar meraviglia se tra queste vi restino molti spazi attraverso de' quali possano passare i liquidi. Quindi la carta, i feltri, le stoffe son de' corpi la cui porosità è generalmente nota. Lo stesso può dirsi de' corpi ridotti in polvere , essendo sempre capaci di esser penetrati dai liquidi : onde avviene che un mucchio di arena trovasi umettato fino alla cima , che il fuoco si mantiene sotto la cenere , perciocchè se l'aria non penetrasse fino su i carboni questi tosto si estinguerrebbero.

I filtri de' quali si fa uso sovente nelle operazioni chimiche , altro non sono che corpi porosi , i pori de' quali sono sufficienti per far passare i liquidi , ma stretti in modo da trattenere le straniere sostanze nuotanti ne' medesimi.

Tutti i tessuti naturali , tanto del regno vegetabile, quanto del regno animale sono parimenti porosi : nè convien ricorrere alla esperienza per dimostrarlo , bastando l'osservare che una pianta ovvero un animale da prima non era altro che un germe di tenuissimo volume , essendo tali tutt' i germini ; che questi corpi sviluppansi a poco a poco ; che nella massa dei medesimi non avvi alcuna parte che non abbia vita , perciocchè questi corpi han vita nell' interno egualmente che al di fuori , e che è assolutamente necessario che alcuni fluidi possan circolare per tutte le fibre , af- fin di recarvi il nutrimento , e mantenervi la vita.

V' ha di più de' particolari meati per siffatta circolazione di fluidi ne' corpi viventi, la porosità dei quali egualmente che la organizzazione va soggetta a leggi regolari. Un animale, un albero, non sono sicuramen-

te l'opera del caso, le parti materiali di questi non son disposte in un modo confuso, come quelle di un mucchio di arena. Ma neppure il caso ha prodotti i minerali ed i monti, essendo le parti di questi disposte con un certo ordine, e però la porosità tanto nell'uno quanto nell'altro caso è l'effetto di una necessaria disposizione che le forze danno alla materia.

I corpi organici conservano la propria disposizione de' vasi, anche avendo finito di vivere; solo i fluidi di essi non più essendo, come prima, da particolari forze regolati, penetrano indistintamente attraverso tutt' i pori che incontrano; tal volta questi esalano, ed i corpi viventi disseccansi, come avviene al legno; spesso poi restan col corpo mescolati ed allora ha origine una fermentazione per la quale questo rimane distrutto.

Il legno immerso nell'acqua accresce di peso e di volume; quello poi che sta esposto all'aria tanto ne' lavori di edificazione, quanto in quelli di falegnameria, si restringe ne' tempi asciutti, e ne' tempi umidi s'ingrossa; questi sono effetti della grande porosità de' medesimi, e si può tali effetti impedire mercè le dipinture e le vernici.

Gli animali ed i legni impietriti, valgono a mettere, in piena luce la porosità, perciocchè le sostanze petrificanti debbono insinuarsi in tutta la massa e penetrarne tutte le fibre.

Le sostanze minerali sono più o meno porose a seconda della varia natura delle medesime, e della varia disposizione delle particelle dalle quali sono composte. Le pietre opache, e generalmente quelle le cui parti sono irregolarmente disposte sono quasi sempre le più porose.

La creta con tutte quelle pietre che diconsi calcaree hanno la medesima natura del marmo; e la differenza consiste solo nella disposizione delle parti; e questo solo basta a far sì che abbian diversa porosità. Allorchè si versa dell'acqua sopra un pezzo di marmo

essa rimane sulla superficie, non essendo punto assorbita. In simil guisa buttando un pezzetto di creta in un bicchiere d'acqua, si vedranno montar su molte piccole bolle, le quali non appariranno se invece della creta si butti nell'acqua un pezzetto di marmo. Cotali bolle produconsi dall'aria che esce da' pori della creta secondochè l'acqua entro di quelli si va man mano introducendo. E volendosi di ciò una sicura dimostrazione, non bisogna fare altro che rompere quel pezzo di creta che fu tenuto per qualche tempo nell'acqua, ed osservare come esso trovisi umettato fino al centro, al contrario il marmo si scorge appena umidito sotto la superficie. Da ciò non deve conchiudersi, che il marmo a lungo andare non si potesse del pari imbevver di acqua, ma solo, che per far penetrare i liquidi ne' corpi che non sono porosi son necessarie due condizioni cioè lungo tempo, e molta pressione: quindi avviene che le pietre cavate dal fondo del mare o de' fiumi sono generalmente umidissime, e tanto più se da grande profondità siano portate; perciocchè, noi vedremo essere i corpi, a tre o quattro mila metri al di sotto della superficie delle acque, premuti per lo peso del liquido che sta al di sopra di essi, come se si trovassero sotto di uno strettoio fortissimo.

Tra le pietre silicee, quali sono le agate, le pietre focaie, trovasene una che chiamasi *idrofana*, la cui porosità si appalesa mercè di un fenomeno singolare. L'esperienza è piacevole; perocchè l'idrofana è naturalmente opaca, ma tenuta un poco nell'acqua quando vien tratta fuori è trasparente quasi come il vetro. L'acqua l'ha penetrata siccome l'olio penetra la carta; le bolle d'aria che sonosi sviluppate come nella esperienza della creta dimostrano l'assorbimento, ed il volume di queste è eguale a quello de' pori nei quali l'acqua ha potuto intromettersi: ma per determinare con precisione questo volume uopo è pesare l'idrofana prima di tuffarla nell'acqua; e dopo di avernela tratta fuori, la differenza de' pesi indicherà

il peso dell' acqua assorbita , dal quale si potrà facilmente conoscerne il volume.

V' ha di molti fenomeni che valgono a dimostrare , le grandi masse minerali non esser meno porose delle piccole sulle quali possiam fare esperienze : si sa , per esempio , l' acqua trapelare le pareti di profondissime cavernè , e in tal guisa deporre in ogni parte le stallattidi , la stalagmiti , ed ogni altra maniera di cristallizzazione , l' unione delle quali presenta uno spettacolo maraviglioso. È noto egualmente , le montagne tagliate in senso verticale , soffrire ogni anno una specie di esfoliazione , della quale la porosità deve considerarsi come una delle principali cagioni ; imperciocchè i lati di queste battuti dalla pioggia e dal vento assorbono l' umido , il quale congelato dal freddo invernale , aumenta di volume ; dal che risulta una rottura di aderenza in tutti gli strati superficiali , i quali al venir della primavera cominciano a staccarsi a poco a poco , e cadono fino all' autunno. Quindi avviene che sotto a' grandi dirupi , si accumulano degli strati quasi di eguale grossezza , de' quali si può giovare la geologia per risalire a' tempi primitivi ne' quali le montagne han presa quella disposizione che hanno al presente.

Da ultimo gli stessi metalli danno chiare pruove di porosità. Una sfera d' oro piena d' acqua e fortemente premuta mostra in tutta la sua superficie delle piccole gocce d' acqua simili a quelle della rugiada. Questa esperienza fu fatta nel 1661 per la prima volta dagli accademici fiorentini , ed essendo stata poi spessissimo ripetuta su differenti metalli sonosi sempre avuti gli stessi risultamenti.

Da tutti questi svariati esempi di porosità , si può conchiudere , esservi molti corpi assai porosi attraverso de' quali i liquidi facilmente trapelano , bastandovi il solo contatto ; al contrario esservene altri i quali non possono esser penetrati se non dopo di un tempo più o meno lungo , e sotto una più o meno forte pressio-

ne ; finalmente trovarsene altri attraverso de' quali in niun conto potrebbe un liquido trapelare anche sotto una pressione capace di romperli. È quasi inutile il far osservare che non tutt' i fluidi sono egualmente sottili per poter penetrare i corpi : l' acqua , l' alcool , l' etere , le varie soluzioni acide o alcaline , il mercurio ; l' olio , lo zolfo liquefatto , l' aria co' differenti gas non possono introdursi con la stessa facilità attraverso de' corpi. È una fortuna per l' esperienze che il vetro sia impermeabile per qualsivoglia fluido.

11. *Compressibilità* — La compressibilità è la proprietà che hanno i corpi di ridursi ad un volume minore allorchè sono da tutte le parti premuti.

I tessuti molto porosi , si sa essere anche molto compressibili ; così la spugna può esser ridotta ad un terzo , ad un quarto , ed anche ad un decimo del suo volume apparente. La carta , le stoffe , i legni e tutt' i tessuti permeabili a' fluidi possono egualmente scemar di volume ; e perdere inercè la compressione i fluidi che contengono. V' ha nelle arti molte operazioni le quali altro non sono che l' applicazione di questo principio.

Anche le pietre se a grandi pesi soggiacciono , fino ad un certo segno si comprimono. Fan pruova di ciò le basi delle colonne o degli edifizii sulle quali gravita tutto il peso delle fabbriche sovrapposte.

I metalli battuti a freddo fannosi più densi , per ciòchè le particelle di essi stringonsi a vicenda.

Le monete e le medaglie ricevon l' impronta sotto l' azione di un torchio che sollecitamente le comprime : questa pressione è sì gagliarda da fare su' i metalli quello che la pressione della mano potrebbe fare sulla cera ; e non solamente mutan di forma in modo da esprimere i tratti più delicati del conio , ma si comprimono in maniera tale che il pezzo coniato ha sempre minor volume di quello non coniato.

I liquidj sono molto meno compressibili de' solidi : l' acqua diminuisce pochissimo il suo volume ,

allorchè vien chiusa in un cilindro di metallo le cui pareti abbian tre pollici di grossezza, e vien fortissimamente compressa. Prima di ridursi a $\frac{19}{20}$ del suo volume il metallo scoppia. E noi avremo agio di osservare che essa si comprime appena di $\frac{48}{100000}$ per ogni atmosfera, e che per fare che scoppi un cilindro di bronzo di tre pollici di grossezza ci vuole la pressione di mille atmosfere.

L'aria ed i gas sono fra tutt' i corpi i più facili a comprimer, e quelli che possono esser ridotti ad un volume minore. E ciò può per via di molte esperienze venir comprovato, ma una delle più semplici è quella dell'accendi-fuoco pneumatico. Questo è formato da un tubo di cristallo lungo otto o dieci pollici, le cui pareti son molto grosse (fig. 1); dalla parte interna che è perfettamente cilindrica muovesi uno stantuffo che combacia esattamente con la cavità cilindrica del tubo. Se questo tubo fosse pieno d'acqua, lo stantuffo non potrebbe scendere essendo l'acqua appena compressibile, ma essendo pieno d'aria la forza della mano è sufficiente a far discendere lo stantuffo in modo da ridurre l'aria al quarto, ed anche al quinto del primiero suo volume. Si sente crescer la resistenza secondochè il volume dell'aria va diminuendo, ma per quanta forza si voglia adoperare non si potrà mai riuscire a spingere lo stantuffo fino al fondo del tubo, perciocchè converrebbe distruggere la impenetrabilità dell'aria. Allorchè lo stantuffo si riporta alla sua prima posizione, l'aria anche riprende il suo antico volume; e però essa non è compressibile alla foggia de' metalli, i quali ricevono le impressioni, senza riprendere il loro volume, cessata la pressione del torchio.

Gli altri gas hanno la stessa proprietà, e tutti cosiffatti corpi non sono solamente atti ad esser compressi, ma per effetto della lor forza espansiva, possono anche prendere un volume di gran lunga maggiore.

Se dalla parte superiore dell'accendi-fuoco pneuma-

tico si ponesse un tubo di egual diametro, ed in vece di premere lo stantuffo si tirasse in alto per entro al tubo aggiunto, l'aria ivi racchiusa si espanderebbe prendendo un volume dieci, cento, mille volte maggiore; anzi pare che non si possa assegnare un limite per cotesta espansione de' gas. Dopo di avere alzato lo stantuffo si potrebbe ripremarlo ed il volume si vedrebbe scemare di nuovo; si potrebbe poi un'altra volta alzarlo e così via via, senz'acchè l'aria conservasse alcuna traccia de' vari stati di compressione e di espansione pe' quali si è fatta passare. La proprietà che hanno questi corpi di poter occupare un volume centomila volte più grande o più piccolo, senza che le azioni molecolari si sospendano, è veramente degna di alta considerazione.

Premesse tali cose, alcuno forse potrebbe inferirne, potersi tutta l'aria atmosferica in piccolo spazio rinchiudere, come per esempio nella capacità di un otre; ma noi vedremo esservi un limite per la compressibilità, sebbene alcuno non se ne possa trovare per la dilatabilità (1).

12. *Elasticità* — L'elasticità è la proprietà che hanno i corpi di riprendere lo stato primitivo, allorchè si fa cessare la causa che faceva cangiare ad essi la forma od il volume.

(1) Il volume apparente fu detto semplicemente volume, ed il reale si disse anche *massa*; si chiamò poi densità il rapporto tra la massa ed il volume; perciò chiamando M , D , V la massa, la densità ed il volume di un corpo, si comprenderà che in un dato volume la massa diventerà doppia tripla ecc. se doppia tripla ecc. diverrà la densità, e per una data densità la massa diventerà doppia tripla ecc. se doppio triplo ecc. diverrà il volume, quindi si avrà $M=D \times V$, e quindi $V=\frac{M}{D}$, e $D=\frac{M}{V}$; e se diremo m , d , v la massa, la densità, ed il volume di un altro corpo, sarà parimente $m=d \times v$, e $v=\frac{m}{d}$, e $d=\frac{m}{v}$; formole che potranno servire per determinare i rapporti che passano tra le masse le densità ed i volumi di due corpi: volendo per esempio paragonare le masse si avrà $M:m=D \times V:d \times v$, e se fosse $M=m$ sarebbe $D \times V=d \times v$, cioè $D:d=v:v$. Nello stesso modo si procederebbe per determinare gli altri rapporti.

L'aria è perfettamente elastica ; perciocchè se si preme in una vescica non interamente gonfiata ; ritornerà al pristino stato al cessare della forza che la comprimereva : similmente premendo lo stantuffo dell' accendi-fuoco pneumatico , esso si rialzerà da se , perchè l'aria compressa lo respinge in alto fino al punto donde si è fatto discendere , non ostante l' attrito. Lo stesso avviene ogni qualvolta una cagione qualunque opera su di un gas , perocchè tosto che questa finisce di operare , il gas torna come era da prima. E però i gas diconsi *fluidi elastici*.

I liquidi compressi par che neppure conservino niente della compressione sofferta , perocchè essi col cessare della forza comprimente riprendono tosto il volume primiero.

Non si trova alcun corpo solido tanto elastico quanto i gas ed i liquidi. Il caoutchouc , o gomma elastica è forse fra tutt' i corpi dotata del più alto grado di elasticità , e pure , o per mezzo del calorico , o mercè di pressioni gagliarde e prolungate o anche per molte volte ripetute , si giunge finalmente a farle cangiar forma e volume.

L'elasticità de' solidi sebbene imperfetta , pure è una proprietà importantissima , e però in uno de' seguenti libri verrà da noi completamente esaminata. Per ora ci basti il dimostrare con alquante sperienze , la medesima ritrovarsi in tutt' i corpi , ma in diverso grado.

L'elasticità dell'avorio , nel moto speciale delle palle da trucco , bastantemente si appalesa , ma in una maniera più propria può dimostrarsi mercè la seguente esperienza : si lasci cadere una palla ordinaria , o alquanto più grande sopra di un piano ben levigato unto leggermente d'olio ; tosto questa rialzerassi rimontando fin quasi all'altezza dalla quale è caduta. Questa al certo è una valida pruova di sua elasticità ed in conseguenza del suo cambiamento di figura ; ma se si osservi il piano nel punto ove è stato dalla palla

colpito , si vedrà un impronta più o meno ampia secondochè il colpo è stato più energico, il che in una maniera assai chiara dimostra, la palla aver ripigliata la sua figura dopo di essersi depressa , appunto come succederebbe ad una vescica piena d'aria o ad una bolla di sapone , giacchè anche coteste leggerissime sfere possono, urtando contro di un corpo tornare in dietro con moto riflesso senza rompersi. Alle sfere di legno , di pietra, di vetro o di metallo succede presso a poco lo stesso di quello che avviene alle palle di avorio : tutte più o meno comprimonsi prima di rimbalzare , il che dimostra la loro compressibilità , e tutte, quando non sian troppo fortemente compresse , rimbalzando riprendono la pristina figura , il che dimostra la loro elasticità. Onde nelle operazioni de' corpi elastici è da considerare due fenomeni , quello della compressione o del cambiamento di figura , e quello del ritorno completo di tutte le parti al pristino stato. Un foglio di carta , o anche una sottil lamina di piombo ; non son del tutto privi di elasticità , perciocchè si possono piegare alquanto senza che si rompano , e riprendendo la primitiva situazione : ma se si rimuovano un poco di più dalla loro posizione, si piegano senza mostrare alcuno sforzo per ritornarvi.

L'elasticità nascendo sempre da uno scompiglio di molecole , sia che provenga da compressione o da flessione , sia che abbia origine da torsione o da stiramento , sarà sempre vero , esservi per ciascun corpo de' limiti per cotesto scompiglio , e quindi per l'elasticità. E quanto più si estendono questi limiti tanto più di elasticità manifestasi ne' corpi : onde le palle d'avorio sono più elastiche delle palle di piombo , perchè riprendono la loro figura dopo una maggiore compressione : le lamine d'acciaio son più elastiche di quelle di vetro , perciocchè possono esser piegate di più : i fili di seta sono più elastici di quelli di rame o di argento , perciocchè si possono torcere di più ; e le corde di violone hanno de' fili di ferro elasticità

maggiore, potendosi quelle stirare molto più di questi, senza perder l'efficacia di ridursi alla primitiva lunghezza. Ma se si produrrà nelle molecole del corpo quello scompiglio che il proprio stato d'aggregazione permette, esse ritorneranno esattamente alla primiera posizione, ed in questo senso si potrebbe dire esser tutt'i corpi, nessuno eccettuato, perfettamente elastici.

13. *Dilatabilità* — La dilatabilità è la proprietà che hanno corpi di aver vario volume per la influenza del calorico, cioè maggiore col riscaldarsi, minore col raffreddarsi, ed eguale a quello di prima col ritornar che fanno alla primiera temperatura.

L'aria è tanto facile a dilatarsi che cresce molto di volume per lo semplice calorico della mano. Volendone far l'esperienza, si prenda un tubo di vetro molto lungo, avente l'interno diametro di due o tre millimetri, terminando da una parte a sfera. Si può, mercè alcune precauzioni, farvi entrare una colonna di liquido colorato la quale si mantenga verso il mezzo del tubo in *m* (fig: 2), e separi l'aria interna dall'aria esterna. Disposte così le cose, essendo questa colonna in quiete, si accosti la mano alla sfera, e tosto vedrassi ascendere la colonna del liquido; dunque l'aria interna cresce di volume. Rimovendo poscia la mano, la colonna di liquido si vedrà gradatamente discendere fino a che non riprenda l'antica sua posizione, il che dimostra che l'aria, col ripigliare la primiera temperatura, ripiglia anche il primitivo volume.

Volendo poi fare la stessa esperienza sopra i liquidi, prendasi un tubo al precedente del tutto simile, e si empia per metà in *m* (fig. 3) d'acqua o di mercurio; poi s'immerga la sfera nell'acqua calda, e la colonna monterà su sino ad *m'*: se al contrario si immerga nella neve pesta, la colonna si abbasserà fino ad *m''*; e finalmente salirà fino al punto ove era, se verrà posta di nuovo nell'aria ove da prima trovavasi.

In molte maniere poi possonsi fare l'esperienze

pe' solidi , una delle più semplici consiste nel prendere una spranga di metallo la quale entri esattamente fra due pezzi di metallo posti ad angolo retto (fig : 4) sopra una tavola di legno molto grossa. Se la spranga si arroventi, si allungherà in guisa che non starà più fra gli stessi termini , ma vi tornerà col raffreddarsi , in modo che col tornare alla temperatura di prima ridurrassi anche fra gli stessi punti (1).

Quindi tutt' i corpi son dilatabili e fra tutti quello che fa variare agli altri il volume è il più variabile. In ogni istante del giorno o della notte varia la quantità di calorico , tanto per l' azione de' raggi solari , quanto per mille altre cagioni , e tutt' i corpi posti sulla superficie terrestre prendon parte a siffatte variazioni , essi sono or dilatati or ristretti , nè conservan punto invariabili dimensioni come noi supponghiamo. Queste vicissitudini produconsi per un moto delle parti interne ed esterne del corpo , e se la porosità ci dimostra , queste parti non toccarsi affatto , la dilatazione ci fa aperto , esse non esser mai in quiete , nè serbar mai le stesse distanze o la stessa giacitura le une rispetto alle altre. Dal che possiamo finalmente conchiudere , che quella materia che ci sembra la più inerte , è in continua azione in tutta la sua massa , essendo tutte le sue molecole tanto al di dentro quanto al di fuori soggette a talune cause continuamente operanti , le quali posson sempre variare d' intensità.

(1) Il pirometro è l' istrumento del quale comunemente si fa uso per dimostrare la dilatabilità de' metalli ; ma di queste cose sarà ampiamente discorso allorchè si parlerà del calorico.

CAPO III.

DELL'EQUILIBRIO E DEL MOTO.

NOZIONI DI STATICA.

14. Un corpo è in *equilibrio* allorchè le forze che lo spingono scambievolmente distruggonsi , ovvero allorchè da qualche resistenza restano distrutte. Quindi un corpo sospeso all'estremo di un filo è in equilibrio , perciocchè la gravità che lo spinge è distrutta dalla resistenza del filo e del punto di sospensione: se il filo non sia bastantemente forte romperassi ed il corpo cadrà ; se il punto ove è legato il filo sia mal fermato, il corpo lo porterà con seco cadendo. Alcune volte si ha equilibrio senza verun punto fisso e senza apparente resistenza; in fatti, i pesci i più pesanti sono in equilibrio nell'acqua ; un *areostata* con tutt'i suoi attrezzi , con la sua navicella , e con gli osservatori che trasporta , può del pari essere in equilibrio nell'aria : ma in questo caso la gravità che stimola il corpo è distrutta da alcune particolari pressioni delle quali nel seguente capo discorreremo.

Si può ben dire che tutti i corpi i quali sembrano in quiete , siano veramente in equilibrio , perciocchè essi son sempre sotto il potere di più forze che a vicenda distruggonsi.

La *statica* ha per obbietto di determinare le condizioni di equilibrio , e la *dinamica* di determinar le leggi del moto , il quale ha luogo allorchè le condizioni di equilibrio non sono adempiute. La *meccanica* comprende la statica e la dinamica, cioè le leggi dell'equilibrio e del moto.

15. Le forze possonsi misurare prendendo per unità una forza data , come appunto si misurano le lunghezze ed i pesi, col prendere per unità una lunghezza o un peso determinato. Inoltre la nozione di

grandezza non si applica direttamente alle forze, e però convien diffinire con esattezza che cosa intendasi per *forze eguali, doppie, ecc.*

Affinchè due forze dir si possano eguali convien che si equilibrino allorchè scambievolmente si oppongono, o in un punto o agli estremi di una retta inflessibile. Due forze eguali fanno una forza doppia allorchè si uniscono, cioè quando si fanno operare per lo stesso verso e per la stessa direzione; si avrebbe parimente una forza tripla, se tre forze eguali operar si facessero per lo stesso verso, e così via discorrendo.

Premesse tali cose, se si converrà di rappresentar una forza per mezzo di un numero o di una linea, la forza doppia di questa verrà espressa da un numero doppio, o da una linea doppia, ec. Onde potrem sempre esprimer le forze per grandezze numeriche o lineari, e far su quelle le operazioni medesime che su di queste facciamo.

16. Sia qual si voglia il numero delle forze operanti su di un punto, e sieno quali si vogliano le direzioni di essi, non potranno in ultimo risultamento imprimere a questo punto che un sol moto secondo una data direzione. Or ciascuno di leggieri comprende, potersi dare una sola forza valevole a produrre l'effetto che dal concorso di molte produrrebbersi, e questa forza unica che potrebbe far le veci di tutte le altre, vien detta *resultante*. Così allorchè un battello muovesi per la forza della corrente, dei remi, del vento, si potrebbe ideare una forza sola, come per esempio un filo ben forte il quale essendo legato al battello e tirato nella stessa direzione con forza tale da imprimere al battello per ogni istante quel moto stesso che tutte queste forze riunite avrebber prodotto, e questa sarebbe la risultante. La corrente, il vento, ed i remi cessando d'operare, e sostituendo ad essi il filo del quale facciam parola, nessun cambiamento avverrebbe in quanto agli effetti.

L'aggregato delle forze che concorrono a produrre

un effetto dicesi un *sistema di forze*, e queste forze soglion dirsi anche *componenti* allorchè son considerate per rispetto alla risultante che potrebbe venire ad esse sostituita. Egli è chiaro che se ad un sistema di forze una nuova se ne aggiugesse eguale alla risultante e diretta in contrario, in quel nuovo sistema di forze, l'equilibrio si avrebbe. Questo è il carattere distintivo della risultante.

Quindi nell'esempio da noi scelto, se mentre le forze della corrente, del vento, e de' remi, spiegano la loro azione, si ponesse un filo ben forte diretto per un verso contrario alla direzione della risultante, e tirato con egual forza, l'equilibrio ne nascerebbe: ed il battello sarebbe più fermo di quando troverebbesi angariato: esso non potrebbe andare innanzi o retrocedere, nè prendere altra direzione fino a che, o qualche nuova forza, o qualche cambiamento atto a disturbare lo sforzo per lo quale l'equilibrio manteneasi, non sopraggiungesse.

17. *Risultante di più forze operanti nella stessa direzione.* Allorchè tutte le forze che operano sopra un punto tendono a muoverlo sopra una stessa linea, possono due casi accadere: 1.° Se tutte queste forze operano nello stesso verso, la risultante sarà eguale alla somma di esse, 2.° se esse operano le une in un verso e le altre nel verso opposto, la risultante è uguale alla differenza delle due risultanti parziali, ed è diretta nel verso della più grande.

18. *Risultante di due forze che operano ad angolo sopra uno stesso punto.* Due forze operanti sul punto *a* (fig. 5) l'una nella direzione *an*, e l'altra nella direzione *ay*; la prima rappresentata in grandezza da *ab*, e la seconda da *ac*; egli è chiaro che il punto *a* non potrà muoversi per *ab* nè per *ac*, o che debba prendere una direzione intermedia. Tutto ciò viene a prima giunta dettato dal comune giudizio, il quale non ci può dir di più; imperciocchè per determinare questa direzione media che prender dee la

risultante, e la intensità della medesima, è forza ricorrere a dottrine le quali noi dobbiamo tacere. Ci contenteremo in vece di enunciare il principio generale della composizione delle forze, perciocchè esso è semplicissimo, e di leggieri s'intende. Ecco in che questo consiste: si costruisce il parallelogrammo *abrc* sulla grandezza delle due forze date e si tira la diagonale *ar*; questa diagonale esprimerà nello stesso tempo la grandezza e la direzione della risultante. Onde il punto *a* spinto dalle due forze *ab* ed *ac* trovasi precisamente come se venisse spinto da una sola forza diretta secondo *az* ed eguale in intensità ad *ar*. Questo principio è vero tanto per le forze eguali, quanto per le forze disuguali; si verifica per le forze le cui direzioni facciano angolo acuto retto o ottuso, o un angolo qualunque: questo è il principio fondamentale di tutta la statica, ed è conosciuto sotto il nome di *parallelogrammo delle forze* (1).

(1) Il principio della composizione delle forze, secondo di tante utili conseguenze nella meccanica e nella idromeccanica, fu la prima volta escogitato dall'immortale Galilei il quale nel Dialogo IV delle due scienze nuove sul moto, in una maniera assai breve dimostrò, che se mai un corpo conducasi con due moti eguali l'uno orizzontale, verticale l'altro, l'impeto risultante dalla composizione di essi debba essere in potenza uguale ad amendue, cioè che la velocità del mobile debba esprimersi con la radice de' quadrati delle velocità di que' due moti. Ma il cavalier Newton nato, come dice il nostro illustre N. Fergola, per promuovere grandemente le invenzioni Galileiane, trovò un'altra dimostrazione che alla composizione delle forze più che a quella de' moti si convenisse. « Il corpo A, dicea questo vanto, » lentuomo, Cor: I leg: III, qualora è spinto dalle forze M ed N, » (Tav: agg: Fig: 1) i valori e le direzioni delle quali son date dalle rette AB, AC, dovrà condursi per la diagonale AD del » parallelogrammo ABCD che si compie da AB, ed AC, descrivendola nello stesso tempo, in che con ciascuna forza sarebbe » condotto per ciascun lato. Imperciocchè la forza N spingendo questo corpo per la direzione AC parallela a AD, non estingue la » velocità che la forza M gl'impartisce d'accostarsi alla BD. Dunque » dopo qualche tempo esso dovrà rinvenirsi in un punto della » BD. Ma la forza M nè tantopoco toglie al mobile la velocità d'accostarsi alla CD prodottavi dalla forza N: dunque è d'uopo che » alla fine dello stesso tempo esso trovisi nella CD, e che con le » forze congiunte pervenga per la AD nel luogo D, ove si segano » le due rette BD, CD ».

Allorchè le due forze sono eguali, la risultante divide per metà l'angolo formato dalle direzioni delle componenti, ma può in grandezza pareggiare una delle componenti, superarla, o esserne minore (fig: 6. 7. e 8.).

Se le due forze son disuguali, la risultante dividerà l'angolo in due disuguali porzioni, avvicinandosi sempre alla forza maggiore (fig: 9.).

Ma siccome da questa dimostrazione non vedesi come nel misto delle forze restino tuttavia inalterati gli effetti, cioè le velocità di appressare il mobile A alle BD, CD, così alcuni han procurato di modificare la dimostrazione newtoniana ed altri come il Bernulli, il d'Alembert, il cavalier de Fancenex han tentate nuove dimostrazioni, nell'esame delle quali non ci è dato di entrare. La più esatta fra le dimostrazioni sintetiche sembra esser quella che il lodato N. Fergola ha esposta nelle sue prelezioni sopra Newton.

Volendo poi della risultante P espressione analitica, si potrà facilmente ottenere. Nel parallelogrammo ABCD (Tav: agg: fig: 2): si faccia $AE=P$, $AD=Q$, $AC=R$, e l'angolo $BAD=m$. Abbassata sopra CD o sul prolungamento di essa, secondochè l'angolo in A è ottuso o acuto, la perpendicolare AO, sarà (Prop: 12 e 13 lib: II El:) $R^2=P^2+Q^2\pm 2PQ\cos m$; DO, prendendo il segno meno se l'angolo m è ottuso, ed il segno più se è acuto, come lo è chiaro. Intanto nel triangolo rettangolo AOD (n. 1.), si ha $AD:DO=R:\cos D$, ma $AD=Q$, $\cos D=-\cos m$, essendo i due angoli l'uno supplemento dell'altro, dunque prendendo il raggio per unità si avrà $Q:DO=1:-\cos m$, e perciò $DO=-Q\cos m$: nell'altro caso (n. 2.) si avrà similmente $Q:DO=1:\cos ADO$, ma l'angolo $ADO=DAB$ perchè alterni; dunque avremo $Q:DO=1:\cos m$, e però $DO=Q\cos m$, onde sostituendo il valore di DO nella espressione della risultante si avrà $R^2=P^2+Q^2\pm 2PQ\cos m$: il doppio segno svanirà perchè $-Q\cos m$ essendo preso negativamente diviene positivo, perciò sarà $R=\sqrt{(P^2\pm 2PQ\cos m+Q^2)}$. Se l'angolo m fosse retto il coseno sarebbe $=0$, ed allora avremmo $R=\sqrt{(P^2+Q^2)}$, che corrisponde al caso dimostrato dal Galilei. Potrebbe poi essere $m=0$, il che da $\cos m=1$, ovvero $m=180^\circ$, il che da $\cos m=-1$, ed in questo caso si avrebbe $R=\sqrt{(P^2\pm 2PQ+Q^2)}=P+Q$, o pure $R=\sqrt{(P^2-2PQ+Q^2)}=P-Q$, cioè nel caso delle forze cospiranti la risultante eguale alla somma delle componenti, e nel caso delle forze opposte la risultante eguale alla differenza delle componenti. Non mi dilungo nella determinazione de' rapporti tra la risultante e le componenti, perocchè ciascuno da se potrà rinvenirli qualora si faccia a considerare esser queste tre forze espresse da' tre lati di un triangolo. Si noti in fine potersi con varie sperienze rendere aperta la legge della composizione delle forze.

19. Potendosi a due forze sostituirne una, con pari ragione ad una sola potranno essene due sostituire. Ognuno potrà facilmente intendere esservi molti differenti sistemi i quali ingenerar possono la stessa risultante (fig: 12), ed al contrario molte maniere di sostituire ad una sola forza un sistema di due altre, purchè non si richieda alcuna condizione sulla grandezza o direzione delle medesime: ma se per esempio si domanda (fig: 11), di sostituire alla forza *ar* due altre forze, una delle quali abbia la direzione *ay* e sia eguale ad *ac*, allora il problema è determinato; perciocchè in una sola maniera potrà essere esibito il parallelogrammo, per rinvenire la componente *ab* (1).

20. *Resultante d'un numero qualunque di forze operanti sopra d'un punto.* Quando si sa trovar la risultante di due forze, che operano sopra d'un punto, puossi anche facilmente ritrovare quella d'un numero di forze qualunque, imperciocchè prendendosi la risultante delle due prime, e poi la risultante tra questa risultante e la terza forza, quindi in simil guisa un'altra risultante fra l'ultima risultante ritrovata e la quarta forza, e così continuando, avrassi la risultante di tutte le forze date, potendo incominciare l'operazione a piacimento da due forze (fig. 12).

21. *Resultante delle forze parallele.* Allorchè due forze parallele *ab*, e *cd* (fig. 13) operano sopra una linea *ac*, si potrà ad esse sostituire una forza sola, la quale ne sarà la risultante, di cui determinerassi l'intensità, la direzione ed il punto di applicazione, mercè i seguenti principi:

1.° La risultante di due forze parallele è uguale alla somma di queste se sian dirette per lo stesso ver-

(1) Trovare due forze le quali sarebber capaci di produrre un effetto dato, ovvero sostituire due forze ad una in modo che gli effetti siano gli stessi, è ciò che dicesi risoluzione del moto. Da quello che si è detto innanzi apparisce, i tre lati del triangolo poter rappresentare le condizioni di equilibrio di un punto materiale spinto da tre forze.

so, ed alla differenza se procedano per versi contrarij.

2.^o Essa è parallela alle componenti.

3.^o Passa per un punto g tale che le distanze ag e eg sono in ragion reciproca delle forze ab e cd . Questo punto d'applicazione della risultante dicesi *centro delle forze parallele*. È singolar proprietà di questo punto di non cambiar sito col cambiar la direzione assoluta delle forze, purchè queste conservino il parallelismo fra loro, perciocchè, se le stesse forze operassero secondo am e cm , la risultante di queste passerebbe tuttavia per lo punto g , dappoichè le forze non essendosi cambiate d'intensità continuerebbero ad essere in ragion reciproca delle distanze ag e cg .

La risultante d'un numero qualunque di forze parallele si ritrova componendo da prima due di queste forze, poi la risultante di questa con la terza, e così sino all'ultimo (1).

22. *Delle coppie*. Due forze eguali parallele ed opposte operanti ad angolo sopra una linea ac (fig. 14) costituiscono una *coppia*. Da quello che dianzi

(1) Siano AP , e BQ due forze parallele (Tav. agg. fig. 3). S' intendano a' punti A , e B applicate due forze eguali ed opposte AM , e BN , dirette secondo AB : compiuti i due parallelogrammi, si tirino le diagonali AX , e BY .

Essendo le forze MA , e BN uguali e contrarie, scambievolmente distruggerannosi, e però la risultante delle due forze $A P$, BQ rimarrà la stessa che quella delle quattro forze, cioè delle due parallele e delle due uguali aggiunte, ma queste quattro son ridotte alle due AX , BY , dunque la risultante di queste sarà la stessa che la risultante delle due parallele AP , BQ . Si prolunghino le due AX , BY finchè s' incontrino in S , e s' intendano entrambi queste forze trasportate in S : ciascuna di esse si risolva in due una parallela ad AB e l'altra secondo SG parallela ad AP , è chiaro doverne risultare, secondo KL una forza $\equiv AM - BN \equiv 0$, ed un'altra secondo $SC \equiv AP + BQ$. Quindi la risultante sarà uguale alla somma delle componenti e parallela ad esse.

Inoltre si ha $AP : PX \equiv SG : GA$, e $BQ : QY \equiv SG : GB$, ma è $PX \equiv QY$, dunque sarà $AP : AG \equiv BQ : BG$, cioè $AP : BQ \equiv BG : AG$. Ecco come il Venturoli in una maniera chiara ed elegante dimostra le verità dell'autore enunciate. Nel caso delle forze parallele ed opposte si potrà con pari facilità far conoscere la intensità e direzione della risultante.

abbiam detto apparisce, la risultante di una coppia essere uguale a zero, e pure il sistema non è in equilibrio: è questo un caso particolare nel quale non si può a due forze una sola sostituire: una coppia si può trasformarla in mille guise, ma non può esser mai sostituita da una sola forza; e però per una coppia non si hanno mai le condizioni di equilibrio: se si lasci operare, la linea *ae* ruoterà finchè non sia arrivata secondo la direzione *dcab* (fig. 15); allora la coppia finisce, e s'ingenera l'equilibrio stabile: se poi la coppia venisse ripiegata nel modo espresso dalla fig. 16, si avrebbe l'equilibrio, ma instabile, perocchè rimuovendola un poco, ruoterebbe spiegandosi interamente.

23. Dicesi *leva* una verga dritta o curva, che possa avere un moto di rotazione intorno di un punto fisso, il quale dicesi *punto di appoggio* (1).

Non può mai una leva essere in equilibrio sotto l'azione di una sola forza, purchè il prolungamento di questa forza non passi per lo fulcro.

Affinchè una leva spinta da due forze le quali siano nel medesimo piano, resti in equilibrio, uopo è che si avverino due condizioni. *Convien primieramente che queste forze tendano a farla girare per versi contrari, ed in secondo luogo che le rispettive intensità siano nella ragion reciproca delle corrispondenti braccia di leva.* Dicesi *braccio di leva* di una forza, la lunghezza della perpendicolare abbassata dal punto di appoggio sulla direzione di questa forza, o sul prolungamento di essa: così *fp* (fig. 22) è il braccio di leva della forza *ab*, ed *fq* quello della forza *de*. Supponendo che queste forze siano nello stesso piano, si vede che esse tendono a produrre un moto di rotazione per versi contrari, e con ciò si adempie la prima condizione, ma per potersi verificare anche la seconda, uopo è che la prima di coteste forze con-

(1) Chiamasi anche *fulcro*, *ippomoclio*.

tenga l'altra tante volte, per quanto il braccio di leva di questa contiene il braccio di leva della prima. Se per esempio ab è doppio di cd , converrà che fq sia doppio di fp ; e se ab fosse di cd mille volte maggiore, converrebbe che anche fq fosse mille volte maggiore di fp . Queste condizioni di equilibrio si confanno a molte macchine le quali, infine altro non sono che sistemi di leve più o meno intrigati: nel verri-cello per es., e nell'argano (fig. 19 e 20), la resistenza r , e la potenza tangenziale p la quale cerca di vincerla, son tra loro in ragione inversa delle rispettive braccia di leva, ossia del raggio ab del cilindro, e del raggio cd della ruota (1).

24. *Pressione sul punto di appoggio.* Nella leva ridotta in equilibrio, il fulcro soffre una pressione che giova conoscere. Si considirino le forze trasferite nel punto dove concorrono le loro direzioni prolungate (fig: 23) e si cerchi, per mezzo del parallelogrammo delle forze, la resultante, questa passerà per lo fulcro ed esprimerà, in grandezza ed in direzione, la pressione che questo soffre. Se le forze son parallele (fig: 24), si sa essere la resultante parallela alle componenti ed eguale alla somma di esse (2).

25. Comunemente la leva viene adoperata per sollevare de' pesi: in questi casi una delle due forze dicesi *resistenza* ed è propriamente il peso da innalzare; l'altra dicesi *potenza* la quale è la forza messa in opera per innalzare cotesto peso; e però le condizioni di equilibrio possono essere espresse così: *La potenza sta alla resistenza in ragion reciproca delle corrispondenti braccia di leva.*

La leva si distingue in tre generi, secondo la posizione che il fulcro a trovasi avere per rispetto alla potenza p ed alla resistenza r (fig: 21). Nella leva di primo genere, il fulcro sta tra la potenza e la resi-

(1) Vedi i supplimenti che seguono.

(2) Tutto quello che l'autore dice in questo paragrafo si rende chiaro da se, dopo di avere intesa la nota del § 21.

stenza, la bilancia è una leva di questa natura: in quella di *secondo genere* la resistenza trovasi tra il fulcro e la potenza: finalmente in quella di *terzo genere* la potenza sta tra la resistenza ed il fulcro.

Mandiamo chi bramasse acquistare di queste cose idee più estese alla meccanica del signor Poisson ed alla statica del signor Poinot (1).

26. *Moto uniforme.* Il moto dicesi *uniforme* allorchè il mobile percorre spazi eguali in tempi eguali. Figuriamoci un mobile che percorre una retta, ed un orologio che misuri il tempo: se in ogni minuto il mobile percorre lo stesso spazio, come per esempio sessanta piedi, in ogni mezzo minuto trenta, e venti in ogni terza parte di minuto, esso muoverassi con moto uniforme. Essendo in tempi eguali, eguali gli spazi, ne segue esser costante il rapporto dello spazio al tempo: questo rapporto appunto dicesi *velocità* del moto uniforme. Col prendere un tempo doppio o triplo, doppio o triplo diverrà anche lo spazio ed il rapporto rimane lo stesso. Il numero che rappresenta la velocità dipende dall'unità che si è scelta per lo spazio e pel tempo, e mal si esprimerebbe la velocità indicandola con un numero senza determinare le unità che han servito a trovare questo numero. I moti uniformi son più lenti o più rapidi, secondochè minore o maggiore è la velocità: il vento comune scorre 60 metri in un minuto, ed il vento degli uragani giunge fino 2700 metri, quest'ultimo moto è dunque 43 volte più rapido del primo (2).

(1) Non essendo queste opere fatte per la intelligenza de' poco versati nelle cognizioni matematiche, ho reputato estendere alquanto queste nozioni ne' supplimenti che seguiranno il presente capo.

(2) Lo spazio percorso dal mobile in una data unità di tempo, può servire ad esprimere la velocità del moto uniforme. Sia V questo spazio; egli è chiaro che in due, tre, quattro ecc: unità di tempo, lo spazio sarà espresso da $2V$, $3V$, $4V$ ecc:; onde per un numero T di unità di tempo, sarà lo spazio espresso da TV ; dunque chiamando S lo spazio, avremo $S = TV$, equazione fondamentale del moto uniforme, dalla quale si può avere il tempo essendo

27. Essendo la materia inerte, un corpo il quale proceda con moto uniforme, dovrà muoversi sempre per la stessa direzione e con la stessa velocità, purchè qualche forza non venga ad operare sul medesimo, o per farlo variare di direzione, o di direzione e di velocità; perciocchè un corpo non può per nulla alterare il suo stato sia di moto sia di quiete. In questo senso deve prendersi l'inerzia, e non già come intendevanla i vecchi filosofi; i quali ostinatamente voleano che la materia avesse una tendenza alla quiete. Eglino assimilavano i corpi agli uomini pigri: costoro, diceano essi, bramano il riposo, odiano la fatica; in simil guisa la materia abborre il moto e sforzasi di tornare alla quiete allorchè viene spinta: e però per que' filosofi inerzia era quasi sinonimo di pigrizia. Ma da quanto abbian detto ne segue, in tre cose consistere essenzialmente l'inerzia: 1. nella necessità di una forza per mettere in moto la materia, 2. nella continuazione del moto dopo che la forza ha cessato di operare, 3. nella necessità di una nuova forza per alterare il moto che la materia ha ricevuto. Quando scorriamo un moto scemarsi, mancare, o in una maniera qualunque alterarsi, possiamo esser certi della presenza di una causa produttrice di cotal cambiamento. Una pietra lanciata contro del sole, dovrebbe arrivarvi se non le si opponesse la resistenza dell'aria, e la forza di gravità la quale la tira verso la terra; una palla da trucco posta in moto, non si arresterebbe mai se al suo moto non si opponesse la resistenza dell'aria ed un attrito sul tappeto, più o meno considerevole.

Quasi tutte le forze che mettono in moto i corpi

dato lo spazio e la velocità, e la velocità se è dato lo spazio ed il tempo. Con l'aiuto di questa equazione sarà facile il paragonare gli spazi, i tempi e le velocità di due moti uniformi. Infatti supponghiamo s, t, v , rappresentare lo spazio, il tempo e la velocità di un altro moto uniforme, avremo $S : s = TV : tv$, ove se i tempi fossero eguali, si avrebbe $S : s = V : v$, e se fossero eguali le velocità sarebbe $S : s = T : t$. Se finalmente si avesse $S = s$, sarebbe $TV = tv$, e quindi $T : t = v : V$.

spiegano la loro azione direttamente sopra un piccol numero di molecole componenti i medesimi. Così quando si urta una palla da trucco, si toccano solo alcuni punti della sua superficie; allorchè il vento fa muovere una nave, esso ne spinge solo le vele; e quando la polvere scaglia una palla, il gas che si sviluppa e che dà moto alla medesima, spiega solo la sua azione contro l'interno emisfero. Intanto tutte le parti del corpo si muovono, tanto quelle sulle quali la forza non ha operato direttamente, quanto quelle sulle quali essa si è applicata. Convien dunque dire, che avvenga una eguale ripartizione del moto in tutte le molecole, affinchè l'una non vada dell'altra più celere: quelle che sono urtate direttamente spingeranno le vicine, queste le altre, e così di mano in mano, finchè tutta la massa sia scossa, e tutte le parti con un moto comune si muovano. Affinchè il moto passi di molecola in molecola, si richiede un certo tempo il quale non è molto lungo, ma neppure brevissimo: la durata di questa diffusione del moto è analoga a quella necessaria perchè un fluido si spanda in un vase e vi si ponga a livello: e però una cotal durata dipende dalla massa, e dalla natura del corpo; ecco perchè non avvi mai alcun moto che dir si possa istantaneo. Questo principio è generale per tutta la materia, non esclusa quella de' corpi organici: di fatti, negli animali i più destri il moto non è sì celere come lo è il pensiero, ci vuole un certo tempo perchè si mostri con tutta la sua velocità. Un uccello può vedere lo strale che va per ferirlo, ma lo strale è più rapido delle contrazioni muscolari, basterebbe che l'uccello piegasse alquanto il capo per poter schivare il colpo, ma il capo è ferito pria che il moto muscolare abbia il suo effetto prodotto. Si potrebbero fare delle piacevoli investigazioni intorno alla rapidità delle contrazioni degli organi delle diverse specie di animali.

29. *Della quantità di moto.* Dopo che una forza ha operato su di un corpo, dopo che il moto si è dif-

fuso in tutte le parti della massa, le quali perciò muovonsi con una comune velocità, tutto è finito per la forza, essa ha prodotto tutto il suo effetto, e si può dire, esser passata nel corpo, esservi sparsa, ed ivi restar come racchiusa.

E però, un proiettile lanciato dalla mano, o spinto da una elasticità che si rilascia, o da una improvvisa esplosione, va via, percorrendo lo spazio, per ubbidire alla forza che ha prodotto il suo effetto, e che al presente su di esso più non opera. Se questo proiettile non incontrasse, nè l'aria, nè l'acqua, nè alcun altro fluido, o altro corpo in moto o in quiete, e se inoltre su di esso alcun'altra potenza non operasse andrebbe con moto uniforme per la direzione per la quale da principio è stato spinto, senza fermarsi e senza divertire: e dopo di un secolo egualmente che dopo un minuto secondo, avrebbe ancora la stessa direzione e la stessa velocità. Cotesta perseveranza del moto, come abbiain, non ha guari, osservato è una conseguenza dell'inerzia: essa si può esprimere dicendo, l'azione della forza durar solo un istante, ma l'effetto da essa prodotto durare per sempre.

In tal guisa il corpo conserva le tracce della forza cui è stato sottoposto, e si comprende che la forza rimanendo la stessa, su mobili diversi, diversissimi effetti produrrebbe. La carica di polvere la quale scaglia una palla, potrebbe appena smuovere una bomba, ed ognuno sa, che l'arco il quale imprime ad uno strale leggiero velocità grandissima, non potrebbe con pari velocità lanciarne uno di peso maggiore. Generalmente si crede, questa differenza dipendere dalla gravità, ma cosiffatta credenza è falsa, altrimenti dovrebbe seguirne che se i corpi cessassero di esser gravi, sarebber tutti con eguale velocità proiettati, mentre questo è un errore grandissimo. Fingiamo per poco non essere i corpi pesanti, ed oltre a ciò non esservi aria che possa resistere al moto de' medesimi, sarebbe ancor vero, che la palla della bomba, e lo strale di legno,

di quello di ferro più celere andrebbe, 'imperciocchè la stessa forza impressa a differenti quantità di materia produrrà velocità tanto minore per quanto maggiore sarà la massa. Ecco su questa importante materia un assioma, il quale serve di principio essenziale alla meccanica. *Quando una stessa forza opera su differenti mobili, impartisce ad essi velocità, le quali sono in ragion reciproca delle masse, ovvero delle quantità di materia dalle quali questi risultano.* Quindi la stessa forza esplosiva la quale successivamente lancerebbe le palle di piombo, i cui volumi, e per conseguenza le quantità di materia fossero 1, 2, 3, 4, ecc.: darebbe ad esse le velocità come 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ ecc: in modo che la palla la cui massa fosse 10 avrebbe la velocità di $\frac{1}{10}$, se la massa fosse 100 avrebbe una velocità cento volte minore, e così via discorrendo: d'onde apparisce, che la massa di ognuno moltiplicata per la velocità corrispondente darebbe sempre lo stesso prodotto; imperocchè per la prima questo prodotto è $1 \times 1 = 1$, per la seconda è $2 \times \frac{1}{2} = 1$, ecc. Questo prodotto della massa di un mobile moltiplicata per la velocità si chiama *quantità di moto*: segue da ciò, la stessa forza produrre sempre la medesima quantità di moto, sia qualunque il proiettile che spinge, e però la quantità di moto esser la vera misura delle forze motrici.

Una forza impulsiva dicesi doppia, tripla, quadrupla di un'altra, se doppia, tripla quadrupla quantità di moto produce: quindi nascono le tre seguenti verità.

1. *Le forze sono fra loro come le quantità di moto che producono, ovvero come il prodotto delle masse moltiplicate per le velocità;*

2. *Quando le masse sono eguali, le forze sono come le velocità che imprimono;*

3. *Se le velocità sono eguali le forze sono come le masse sulle quali operano (1).*

(1) Il Cavaliere Newton nei principi mat: della filos. nat: dice;

30. *Della comunicazione del moto.* Allorchè un corpo in moto ne incontra un altro anche in moto ,

quantitas motus est mensura eiusdem orta ex velocitate , et quantitate materiae coniunctim.

La misura delle forze vive , cioè di quelle che sono inefcenti ai corpi mossi , « dice l' illustre N. Fergola , chi non sa in quante » guise abbia rivolto dei moderni geometri il cervello ? L'immortale Newton seguendo le orme di alcuni fisici italiani , e dopo di lui il Desaguliers , il Mairan , Colin Mac-Laurin , Jurin , ed altri » si avvisarono, doversi le forze dei corpi, valutare dalle masse nelle » velocità di essi: Laddove il gran Leibnitz , e con seco la famiglia » dei celebri Bernulli , la numerosa scuola dei Volfiani , il Marchese » Poleni , Ermanno , Ricter , il P. Riccati , ed altri sostenner forte , » che la regola Newtoniana sol ne valesse per le pressioni che essi » chiamarono *forze morte* ; ma che per misurar le *forze vive* , cioè » le *forze dei corpi in moto* , doveasi la massa del mobile nel quadrato della velocità moltiplicare. Lunga ed ostinata lite per questo tra i meccanici nasceva , e bello era il vedere come i Newtoniani , ed i Leibiniziani nella soluzione dei problemi ai medesimi risultamenti pervenivano , e però molti nuove esperienze praticavano l' una o l' altra sentenza sostenendo , mentre altri per comporre la lite , nuove cose scrivevano , ed altri infine esser la quistione solo di parole , affermavano. Ma mettendo da banda tutto ciò , osserviamo che se una forza F imprima in una unità di tempo ad una data massa M una qualunque velocità , affinchè questa divenga doppia tripla ecc, converrà che doppia tripla ecc: anche la forza diventi ; o se la forza dia ad una data massa una velocità V , per avere la stessa velocità in una massa doppia , tripla ecc , è chiaro anche doppia , tripla ecc: dovere essere la forza , e però per l' unità di tempo potremmo dire essere $F = MV$. Che se poi considereremo questa forza in azione per due , tre , quattro ecc: unità di tempo , egli è chiaro il suo effetto doppio , triplo , quadruplo ecc: dover riuscire. Onde una forza minore operando per lungo tempo potrà produrre un effetto uguale a quello di una forza maggiore che abbia per un tempo minore operato. E la disputa tra i Leibiniziani , ed i Newtoniani da ciò precisamente trae la sua origine, perocchè i primi valutavano la forza e poscia tenevan conto del tempo, e gli altri il tempo implicitamente computavano nel moltiplicare la massa per il quadrato della velocità.

Essendo dunque $F = MV$, la quantità di moto non essendo altro che l' effetto della forza , se cotesta quantità di moto la diremo Q . sarà $Q = MV$. Adoperando poi f , m , v , q per un' altra forza diversa operante sopra di altra massa avremo parimenti $f = mv$, e $q = mv$. Quindi paragonando due forze avremo $F : f = MV : mv = Q : q$, e se fosse $F = f$, ovvero $Q = q$, si avrebbe $MV = mv$, cioè $M : m = v : V$. Dalla stessa analogia ricavasi, nel caso delle masse eguali $F : f = V : v$, e nel caso delle velocità eguali $F : f = M : m$. E queste sono le verità dell' Autore enunciate.

o in quiete , singolarissimi effetti produconsi , i quali dalla elasticità , dalla durezza , e dalle relative masse dipendono. Finora la scienza non è giunta a far la disamina di questi fenomeni , se non supponendo i corpi perfettamente elastici o di elasticità interamente privi, ipotesi entrambi false , ma dalle quali deducansi alcune regole semplici , nella pratica utilissime. Noi qui dobbiamo solo prendere in considerazione i corpi non dotati di elasticità , perciocchè i singolari fenomeni dei corpi elastici dobbiamo esaminarli alla spicciolata in uno dei seguenti libri.

1. Allorchè due masse eguali , non elastiche e della stessa velocità dotate , vengono ad urtarsi *direttamente* (1), esse premonsi a vicenda, si fermano in un tratto , e rimangono in quiete nel luogo ove sonosi urtate. È questo un principio da per se stesso evidente, imperciocchè queste masse non possono rimbalzare , essendo prive di elasticità , nè l'una potrà trar seco l'altra spingendola innanzi , essendo eguali i moti per versi contrari. Però , due palle di piombo perfettamente eguali , che in pari tempo fossero lanciate con eguali forze , urtandosi in direzioni contrarie con la medesima velocità , si schiaccerebbero , non essendo dure , e resterebbero prive di moto. Se esse cadono dopo l'urto, ciò non avviene per alcun residuo di velocità non distrutta , ma sibbene per l'opera della gravità continuamente operante su di esse.

2. Questo principio si adatta anco alle masse disuguali , purchè sieno di eguali quantità di moto dotate , vale a dire ; se una massa è doppia dell'altra, questa dovrà avere di quella doppia velocità per farla fermare ; una massa cento volte più piccola dotata di centupla velocità produrrebbe lo stesso effetto , e così via discorrendo : una palla di piombo di un' oncia fermerebbe esattamente un archibugio (*biscaïen*) di una

(1.) L'urto è diretto allorchè avviene nella direzione del

libra, se quella avesse una velocità sedici volte più grande di questo, e fermerebbe una palla da 48 se portasse una velocità settecentosessantotto volte maggiore della velocità di questa, poichè un'oncia è $\frac{1}{268}$ di quarantotto libbre. Due quantità di moto eguali, e contrarie, distruggonşi interamente allorchè la elasticità non è in esercizio, perocchè in fatti due quantità di moto eguali, e contrarie, altro non sono che due forze eguali ed opposte, le quali, come abbiamo veduto, debbonsi distruggere.

3. Essendo le quantità di moto disuguali, la più grande dovrà vincerla, perciocchè il mobile che ne è dotato spingendo innanzi a se l'altro mobile lo astringe a mutar direzione, e da questo momento i due corpi procedono uniti con una comune velocità.

In questo caso la quantità di moto che rimane è la differenza delle quantità di moto primitive; e poichè questa trovasi diffusa nella somma delle due masse, ognun vede, la rimanente velocità potersi ottenere dividendo la differenza delle quantità di moto per la somma delle masse.

Se i mobili andassero per lo stesso verso, le quantità di moto verrebbero ad unirsi, e la comune velocità dopo l'urto si avrebbe dividendo la somma delle quantità di moto per quella delle masse.

E ciò vale anche nel caso che un corpo in moto ne urtasse un altro che si trovasse in quiete; perciocchè esso per procedere innanzi dovrebbe necessariamente portar seco il corpo in quiete, e però comunicare a questo tanta quantità di moto da potersi muovere entrambi con una comune velocità. Se la massa del corpo che trovasi in quiete, fosse eguale a quella del corpo urtante, egli è chiaro, dopo l'urto doversi trovare il moto egualmente distribuito tra le due masse, e la velocità dopo l'urto dover esser ridotta alla metà, essendosi raddoppiata la massa: la velocità dopo l'urto sarebbe la terza parte di quella prima dell'urto, se la massa del corpo in quiete fosse doppia di quella

del corpo in moto ; donde si vede che generalmente per avere la ragione tra la velocità prima dell' urto e quella dopo dell' urto , bisogna dividere la massa del corpo urtante , per la somma delle masse dell' urtante e dell' urtato. Quindi una palla di fanteria la quale pesa $\frac{1}{10}$ di libra , e la cui velocità nell' uscire dall' archibugio è di 1300 piedi per ogni minuto secondo, se urti una palla da 48 la quale sia in quiete , la spingerà innanzi a se , e la comune velocità sarebbe a quella di 1300 piedi, come $\frac{1}{10}$ sta a $48 + \frac{1}{10}$, ossia come 1 a 961 , vale a dire essa saria $\frac{1300}{961}$, o di 1 piede ed $\frac{1}{3}$ per ogni 1" , approssimativamente.

Allorchè una palla va ad urtare un gran masso di pietra , quella deve dare a questa una certa velocità : ma cotale velocità convien che sia picciolissima, perciocchè se il masso di pietra pesasse solo 500 libbre, la velocità dopo l'urto starebbe a 1300 piedi come $\frac{1}{10}$ sta a $500 + \frac{1}{10}$ o come 1 : 10001 , vale a dire non oltrepasserebbe un pollice per ogni secondo ; ma la resistenza e l' attrito avrebber tosto distrutto questo piccol moto il quale sarebbesi successivamente comunicato a tutte le parti contigue, ed anche alla intera massa terrestre.

In tal guisa il moto si comunica e non si perde ; ed allorchè sembra che si consumi , esso in realtà esce da un corpo per passare in quelli che ad esso si parano d' innanzi : il moto si diffonde successivamente a quelli che son contigui all' urtato , e per la grande dispersione che soffre vi diviene insensibile. Ci vuole il moto per distruggere il moto ; le resistenze e l' attrito posson solo disperderlo , ma non mai distruggerlo (1).

(1) » Gio: Alfonso Borelli insigne Geometra Napolitano fu il primo che nella sua opera *de vi percussionis*, legò a' principi della geometria il moto emergente dalla collisione de' corpi. Ma le cognizioni fisiche ch' egli ebbe su questa teoria non furono intera-

Partendo da questi dati si misura la velocità de' proiettili, per mezzo del pendolo *balistico*, rappresentato dalla figura 25. Questo strumento è composto da un asse di ferro *a*, il quale finisce a coltello dalle due parti estreme, e giace su due solidi sostegni; un masso di legno *b* molto pesante ed armato di ferro è sospeso all' asse *a* mercè le due aste dritte *t*, e le quattro oblique *d*; un ago *c* che scorre in una scanalatura circolare *f*, lasciando l'impressione sopra certa cera molle destinata a riceverla; dalla lunghezza di que-

» mente gradevoli a' dotti. Sicchè il dottor Wallis, il cavalier Wren,
» Cristiano Ugenio, tre preclarissimi geometri, soddisfacendo a' de-
» sideri della Società Reale di Londra, dimostrarono compiutamen-
» te con la Geometria e co' veri principi della fisica le regole on-
» de collidonsi i corpi inerti e gli attuosì, e le confermarono con
» la sperienza. Ferg: Prelez. ec.

Se l'urto de' corpi inerti è diretto, noi potremo considerare i momenti di questi corpi come due forze, operanti per lo stesso verso o per versi contrari, e però intenderemo dopo l'urto doversi avere o la somma o la differenza de' momenti. E siccome le masse son sempre riunite così col dividere la somma o la differenza delle quantità di moto, secondochè i corpi vanno per lo stesso verso o per versi contrari, per la somma delle masse avremo la comune velocità dopo l'urto. E però chiamando *M*, *m*, *V*, *v*, le masse, e le velocità de' corpi prima dell'urto ed *x* la comune veloci-

tà dopo l'urto sarà $x = \frac{MV \pm mv}{M + m}$, formola che contiene tutt'i

casi. Supponiamo che i corpi muovansi per la stessa direzione, ed

abbiano eguali masse, in questo caso si avrà $= \frac{M(V + v)}{2M} =$

$\frac{V + v}{2}$. Sia il corpo urtato in riposo, allora sarà $mv = 0$, e quindi

si avrà $x = \frac{MV}{M + m}$, e se fosse $M = m$ si avrebbe $x = \frac{MV}{2M} =$

$\frac{V}{2}$. Quando il corpo urtato è infinito rispettivamente all'urtante

si avrà $x = \frac{MV}{M + \infty}$, cioè infinitesima velocità.

Trovata la comune velocità dopo l'urto, si può conoscere la quantità di moto attuale di ciascuno, e sapendo quella di prima si potrà anche conoscere quanto ciascuno ne abbia ricevuto o dato.
V. Ferg. luogo cit.

sta traccia si conosce il deviamiento del pendolo, colpito con urto diretto dalla palla. Il pendolo è lungo due o tre metri, ed il suo peso in tutto è di tre o quattro mila chilogrammi: il proiettile divide la sua velocità con questa massa grandissima, ed allorchè per mezzo del deviamiento del pendolo si è potuto conoscere la velocità che ha ricevuto, facil riesce il conoscere la velocità della palla nel momento dell'urto (1).

Avvengono nella comunicazione del moto de' particolari fenomeni i quali dipendono dalla maniera di aggregazione de' corpi, e dalla rapidità con la quale il moto può passare di molecola in molecola, nell'interno di una stessa massa. Si sa, per esempio, che una palla perfora una lastra di vetro senza romperla, facendovi un buco simile a quello che uno stampo farebbe sopra una lamina metallica. Questo effetto nasce dalla velocità della palla, e non dalla sua forma; perciocchè se venisse buttata con la mano, la lastra di vetro romperebbe egualmente che se venisse da una pietra colpita. Ma la palla procedendo con la velocità che dalla polvere ha ricevuta, le molecole che essa tocca son trasportate sì velocemente che non v'ha tempo da potere alle circostanti parti il moto trasmettere: in questo caso il moto si comunica solo al cerchio della palla colpito, e la lastra ancorchè sospesa ad un fil di seta neppure un picciolissimo scuotimento soffrirebbe.

Per tal ragione è spesso accaduto, che una palla di cannone abbia spezzato l'archibugio di un soldato di fanteria, senzachè costui abbia sentito il minimo urto, in quella stessa guisa che una bacchetta tronca una testa di papavero senza farne piegare lo stelo. In oltre credeasi che una bomba potesse portar seco una corda grossa e forte, la quale svolgendosi la seguirebbe, e

(1) Perciocchè nella formola $x = \frac{MV}{M+m}$ sarebbe solo V ignota
e perciò avrebbesi $V = \frac{M}{M+m} x$.

che per tal mezzo si potesse senza pericolo recar pronto soccorso a grandi distanze , come in caso di naufragio, d'incendio , o di altri urgenti bisogni ; ma venendo al fatto non si è potuto effettuare questo ingegnoso disegno , perciocchè la corda si spezza e non può seguire la bomba. Converrebbe avere un proiettile la cui velocità lentamente si aumentasse , affinchè l'aderenza delle molecole potesse reggere alle scosse ; perciocchè noi dobbiamo considerare la coerenza delle molecole come una sorta di legame immateriale il quale non può resistere senza spezzarsi , che ad uno sforzo determinato. Una molecola essendo tirata ed un'altra trovandosi in quiete , se quella è troppo velocemente tratta , il legame si rompe , anche perchè in un dato tempo una data quantità di moto può da una molecola in un'altra passare.

Il moto prodotto da una esplosione o della polvere , o dell'aria o del vapore compresso , è un moto che di necessità per ogni verso diffonder si deve. Le pareti del cannone son di ostacolo alla espansione laterale , e tutto l'effetto va a ridursi per la direzione della lunghezza , ed ivi egualmente opera per versi contrari , vale a dire dalla parte anteriore spingendo il proiettile , e dalla parte posteriore il fondo , il cannone, e tutte le parti ad esso unite. Coteste due quantità di moto che sono sempre opposte , sono altresì sempre eguali , e da ciò nasce il rinculamento che segue necessariamente l'egresso del proiettile. Se l'archibugio non è respinto verso la spalla con velocità eguale a quella con la quale la palla è trasferita , e se il cannone con la sua carretta non rinculano con la stessa velocità della palla , ciò nasce dal perchè i proiettili han molto meno massa delle armi destinate a lanciaarli. Allorchè un cacciatore tira un colpo di archibugio, la sua spalla soffre quella stessa pressione che soffrirebbe se una palla da fuori venisse spinta nella canna ad urtarne il fondo con velocità eguale a quella che porta quando ne esce.

Da ciò si comprende, essere sufficiente il sapere il peso dell' arma , quello del proiettile , e la velocità del rinculamento , per poterne dedurre la velocità del proiettile nel cominciamento del suo moto. Questo metodo è stato adoperato da Robins con buon successo.

Una circostanza degna di osservazione , la quale può servire anco di nuovo argomento per fare aperto il tempo , che il moto impiega per diffondersi in tutta la estensione di una massa considerevole , è che il rinculamento non comincia ad apparire, se non quando la palla è uscita fuori del cannone. La esperienza fu fatta la prima volta a La Rochelle circa l'anno 1667 , per comandamento del Cardinale Richelieu. Erasi sospeso un cannone all' estremo di una grossa leva mobile , e la palla che uscivane andava a colpire il segno come se il cannone avesse dovuto rinculare per la stessa direzione del proiettile.

La resistenza del mezzo è un effetto della comunicazione del moto. E per fermo , quando un corpo muovesi nell' acqua è costretto di rimuovere il fluido che incontra , ed il moto che dà a questo , è perduto da esso ; dipoi secondo che procede innauzi incontra altro fluido in quiete , similmente lo rimuove , e perde nuova quantità di moto. Avviene lo stesso per ogni altro mezzo come sarebbe l' aria , un gas od altro fluido qualsivoglia. Intorno a questo fenomeno suolsi ammettere per principio generale , che *la resistenza di mezzo* è proporzionale al quadrato della velocità del corpo che muovesi entro di esso ; ed ecco la ragione che se ne suol dare: Allorchè la velocità diviene doppia il corpo percorre altrettanto spazio nello stesso tempo , d' onde segue : 1. che esso incontra altrettanto numero di molecole alle quali imprime del moto , il che produce per esso una doppia perdita ; 2. che andando doppiamente veloce , deve altrettanta velocità a coteste molecole comunicare , il che raddoppia anche la sua perdita , e però la rende quattro volte maggiore. Dunque allorchè la velocità diventa 2 , la perdita

diventa 4, quadrato di 2. In simil guisa si conosce che con una tripla velocità incontrando il triplo delle molecole alle quali deve anche tripla velocità comunicare, la perdita di moto sarà 9; e così via discorrendo. Per velocità eguali in mezzi differenti, le perdite dipendono dalla quantità di materia che sotto un determinato volume tali mezzi contengono, o dalla aderenza o viscosità più o men grande che tra le molecole ritrovasi.

31. *Della forza centrifuga.* Figuriamoci una piccola sfera priva di gravità ligata all'estremo di un filo *m* (fig. 27) di lunghezza invariabile, e supponiamo che diasi ad esso una spinta per farlo girare intorno al punto *c*, come la pietra di una fionda girerebbe intorno alla mano: egli è chiaro dover la sfera descrivere un cerchio, quindi un altro, e così continuando indefinitamente; e se non si rinvenisse alcuna resistenza sarebbe questo un moto continuo, e continuamente uniforme. La velocità di questo moto circolare è eguale allo spazio diviso per il tempo, come quella del moto rettilineo, ed in pari tempo il filo soffre una tensione, perciocchè se si taglia in un dato istante, la sfera non muoverassi più come prima per un cerchio, ma procederà in linea retta nella direzione della tangente sulla quale ritrovasi. Alla causa di questa tensione del filo dassi il nome di *forza centrifuga*, perciocchè infatti questo è lo sforzo che fa la sfera per allontanarsi dal centro, o che vale lo stesso è lo sforzo che fa il filo per trattenerla, ed impedire che si allontani. Allorchè la pietra di una fionda gira lentamente, la corda è poco tesa; quando essa gira con velocità la corda tendesi di più; e però la forza centrifuga ha una dipendenza della velocità di rotazione, crescendo o scemando con essa secondo una certa relazione. Dimostrasi in Meccanica, nei cerchi disuguali descritti nello stesso tempo, le forze centrifughe esser proporzionali ai raggi. Per esempio in una ruota orizzontale o verticale, che giri intorno di un

asse, la forza centrifuga sarà proporzionale alla distanza dal centro.

La macchina espressa dalla figura 26 mostra questo effetto in un modo spiccato: la molla $a\ b$ allorchè sia in quiete è quasi circolare, ma tostochè si fa girare intorno del suo asse e , per mezzo del manubrio m e della corda incrociata d , diviene ellittica, e si schiaccia sempre più al crescere della velocità di rotazione, i punti più distanti dall'asse allontanandosi maggiormente per effetto della forza centrifuga.

Nei cerchi eguali descritti in tempi differenti, le forze centrifughe sono in ragione inversa dei quadrati dei tempi.

Se il moto non fosse circolare, ma un'altra curva seguisse, sarebbesi anche una forza centrifuga la quale dovrebbe in altra maniera misurare. La forza centrifuga ha luogo in ogni moto curvilineo, e per impedirne l'effetto è mestieri, o che un filo mantenga il mobile, o che li faccia ostacolo una resistenza, o finalmente che una forza attrattiva operante continuamente su di esso, lo spinga verso del centro di rotazione con tanta efficacia da pareggiar quella, mercè la quale la forza centrifuga ne lo allontanerebbe (1).

32. *Moto uniformemente accelerato.* Dicesi *moto vario* in generale, il moto rettilineo, o curvilineo nel quale la velocità è varia in ogni istante. Il moto dicesi *accelerato* se la velocità va crescendo, e *ritardato* se va scemando. Comprendesi facilmente esservi una infinità di moti vari, perciocchè la velocità di un mobile può aumentare, o scemare in moltissime differenti maniere. Generalmente poi nei moti vari che avvengono nella natura, la velocità suol variare secondo alcune leggi molto semplici, qualora si possano esaminare tutte le circostanze che il mobile presenta durante un tempo assai lungo.

(1) Del moto curvilineo in generale, e di alcune verità più elementari che riguardano il moto per le traiettorie, sarà discorso nei supplementi.

33. Nel moto vario la velocità non ha il costante rapporto con lo spazio e col tempo, come nel moto uniforme. Figuriamoci un corpo che si muova con moto accelerato o ritardato in una maniera qualunque: non essendo il suo moto uniforme è mestieri conchiudere esservi una forza la quale in ogni momento viene a disturbare l'uniformità, operando nel verso medesimo del moto per accrescerne la velocità, o per lo verso contrario per iscemarla; è questa la causa necessaria della variazione. Al contrario se in un tempo qualunque del moto vario non venisse alcuna forza ad operare sul mobile, egli è chiaro dovere in sull'istante sparire ogni variazione, ed il mobile dover continuare a muoversi in linea retta con moto uniforme. Or la velocità di codesto moto uniforme la quale verrebbe dopo del moto vario, tolta via ogni nuova forza conservatrice della variazione, è propriamente ciò che dicesi *velocità del moto vario*.

Il *moto uniformemente accelerato* è una maniera particolare del moto vario, ed è quello nel quale la velocità cresce in proporzione del tempo, puossi anche diffinirlo col dire, essere il moto prodotto da una forza *acceleratrice costante*, vale a dire da una forza che opera sempre sul mobile, e che ha sempre la stessa direzione, ed intensità; perciocchè dimostrasi in Meccanica, solo le forze di questa natura poter dare ai corpi velocità che divengono doppie triple o quadruple.

34. Tutte le leggi del moto uniformemente accelerato contengono nelle due seguenti formole:

$$v = gt$$

$$s = \frac{gt^2}{2}$$

nelle quali t è il tempo passato dal cominciamento del moto, g la velocità acquistata dopo una unità di tempo, v quella acquistata dopo il tempo t , ed s lo spazio totale percorso nello stesso tempo. Di queste quattro cose, essendo conosciute due possonsi le altre due ritrovare.

Vedremo alcune utilissime applicazioni di queste dottrine, allorchè della gravità discuteremo (1).

(1) Dalla definizione del moto uniformemente accelerato esposta dall' Autore, apparisce, che se la forza acceleratrice dà al mobile nella prima unità di tempo una velocità g , per le unità seguenti sarà successivamente $2g$, $3g$, $4g$, ... tg , esprimendo con t un numero di unità di tempo qualunque. Parlando del moto uniforme abbiám veduto essere lo spazio uguale al prodotto della velocità per lo tempo, donde segue potersi esprimere per un rettangolo la lunghezza e la larghezza del quale siano due linee una rappresentante la velocità e l'altra il tempo. Vediamo ora come possa esprimersi lo spazio del moto uniformemente accelerato. Sia la retta AG (Tav. agg. fig. 4) divisa in parti eguali rappresentanti le unità di tempo sia Bo la velocità che il mobile riceve dalla forza acceleratrice nella prima unità di tempo. Se questa velocità l'avesse da principio come costante, lo spazio dovuto a questa prima unità di tempo sarebbe espresso dal rettangolo mB , e se la ricevesse in vece tutta alla fine non vi sarebbe spazio per questa unità di tempo già passata. Similmente dovendo la velocità della seconda unità di tempo, diventare $2Bo = Bn$, se questa fosse data al mobile al cominciare di questo tempo lo spazio sarebbe espresso dal rettangolo Cn , al contrario sarebbe espresso da Co se quest'aumento di velocità fosse dato al corpo alla fine della seconda unità di tempo. E così continuando a ragionare, si troverebbe che nella prima ipotesi lo spazio totale sarebbe espresso dalla somma de' rettangoli Bm , Cn , Dp , Eq , Fr , Gs , e nella seconda dalla somma de' rettangoli Co , Dz , En , cc. Ma nè l'una nè l'altra è vera nel caso della forza continua, per cui considerando le unità di tempo infinitesime si comprenderà, tutti questi rettangoli avvicinarsi sempre più al triangolo, e confondersi con esso, che di questi è il limite, allorchè la forza acceleratrice si consideri veramente come continua. E però lo spazio scorso con moto uniforme può essere espresso da un triangolo rettangolo i cui cateti dinotino, uno i tempi, e l'altro le velocità.

$$AG \propto GH$$

Quindi essendo il triangolo $AGH = \frac{AG \times GH}{2}$, ed essendo $AG = t$, e $GH = gt$, chiamando s lo spazio avremo $s = \frac{gt^2}{2}$. Dall' essere poi

le velocità come i tempi è chiaro doversi avere $v = gt$: ed ecco le due formole dell' Autore qui sopra recate. Da queste formole apparisce nel moto del quale parliamo essere gli spazi come i quadrati de' tempi, ed i tempi come le radici degli spazi. Ometto alcune altre considerazioni che qui potrebbero farsi per non uscire da' limiti di una nota.

I.

Delle leggi del moto. L'autore parlando del moto e della inerzia della materia, si è giovato delle leggi del moto escogitate dal Newton, le quali mi piace di qui recare con le stesse parole del sommo Geometra Inglese, affine di farvi alcune brevi osservazioni.

1.^o *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi, vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.*

2.^o *Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam, qua vis illa imprimitur.*

3.^o *Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem.*

Dalla 1.^a, e 2.^a. di queste leggi segue ogni forza istantanea produrre moto uniforme e rettilineo. La terza legge poi fu dal Cav. Newton con tre esempi illustrata, e servì a molti di argomento per ammettere la resistenza o forza d'inerzia. Ma se si porrà mente alla nota 16 pag. 1, e a ciò che l'Autore ha detto nel § 27 del precedente capo, si vedrà la reazione a parlar propriamente non avere esistenza, se per essa voglia intendersi una forza, ma invece quel che dicesi reazione esser l'effetto della comunicazione del moto e della impenetrabilità della materia. E' per fermo, se la materia opponesse mercè la sua inerzia alcuna resistenza, non dovrebbe esser vero che il corpo urtante perde tanto moto per quanto ne acquista l'urtato, il che è contro i fatti dalla sperienza fermati. Ed appunto perchè è vero che il moto perduto nell'urto da un corpo inerte è eguale al moto comunicato, perciò nella soluzione de' problemi di meccanica, non si ha diversità di risultamenti ammettendo o non ammettendo la reazione dell'inerzia.

Momenti di rotazione—Se vi sian due punti A , B collegati invariabilmente tra loro , e l' uno di questi A (Tav. agg. fig. 5.) essendo fisso , l' altro sia spinto dalla forza P , è chiaro questo doversi muovere girando intorno di quello immobile , nel piano che passa per cotesto punto e la direzione della forza. Cosiffatto moto dicesi di *rotazione* , e *momento di rotazione* si chiama l' efficacia della forza nel produrlo. Questa efficacia poi dovrà crescere col crescere della intensità della forza non solo , ma anche col crescere della distanza di sua direzione dal punto fisso , come appresso si dirà , perciò il momento si valuta per lo prodotto della detta distanza nella intensità della forza.

La distanza poi della quale si parla vuolsi determinare per mezzo della perpendicolare AB , che dal punto fisso si abbassa sulla direzione della forza , perciocchè la forza per produrre la rotazione opera perpendicolarmente a cotesta linea. E per fermo, se la direzione della forza sia obliqua ad AB, e sia per esempio secondo BR, risolvendo l' azione della forza in due, una secondo BQ parallela ad AB, l' altra secondo RQ perpendicolare ad essa, si comprenderà, la sola forza perpendicolare produrre la rotazione del punto B, operando l' altra per trarre verso B il punto A , il quale mercè la propria resistenza la distrugge. E però il vero momento sarà espresso da BP. $AB = P \cdot AB$, facendo $BP = P$: il quale momento è eguale al prodotto della data forza nella perpendicolare AC tirata sulla sua direzione ; perciocchè da' due triangoli simili BRP , ABC si ha $PR : PB = AB : AC$; e quindi $PR \cdot AC = PB \cdot AB$. Il momento di rotazione così prodotto dicesi *riferito ad un centro A*, intorno al quale si fa la rotazione , e che *centro de' momenti* viene appellato.

Che se per lo punto A intendasi menata una retta Oo perpendicolare al piano , che passa per lo detto punto e la direzione della forza , il momento della forza che

produce la rotazione dicesi riferito a questa retta, la quale *asse de' momenti di rotazione* suolsi comunemente chiamare. Affinchè poi il momento di una forza possa riferirsi ad un asse, conviene che la direzione siane in un piano perpendicolare ad esso, perciocchè se fosse in un piano inclinato al medesimo, decomponendo di questa forza l'azione, si troverebbe una parte di essa produrre la rotazione, restando l'altra dalla resistenza dell'asse distrutta.

Da ultimo, se s'immagini che un piano perpendicolare ad AB passi per lo punto A, il momento delle forze potrà a questo piano esser riferito, il quale perciò si dice *piano de' momenti*. Ma perchè il momento d'una forza si possa ad un piano riferire, è mestieri che quella sia a questo parallela, e la ragione di ciò apparirà col por mente a quello che non ha guari si è detto.

Ora quando i momenti riferisconsi ad un centro, la distanza si estima per una perpendicolare AC che dal centro A si mena sulla direzione della forza RB; si valuta poi per una perpendicolare BA condotta dal punto di applicazione della forza sull'asse o sul piano, se ad un asse o ad un piano vogliansi riferire. Una cotal differenza potrebbe per avventura far credere i momenti riferiti ad un centro, ad un asse o ad un piano, essenzialmente differire. Ma se si porrà mente al modo di operar della forza per produrre il moto di rotazione, del quale da poco si è discorso, si vedrà svanire ogni differenza, perciocchè queste differenti misure son proporzionali, e possonsi usare promiscuamente.

Posto ciò, le direzioni AP, BQ di due forze parallele P, Q le quali operano per lo stesso verso, siano unite per mezzo della retta YZ (Tav: agg. Fig. 6, e 7.). La direzione della risultante R di queste passi per lo punto C della soprad detta linea. Per un punto qualunque F della linea ZY si conduca in qualunque piano una linea FH, la quale si consideri co-

me l'asse de' momenti. Da' punti di applicazione A, B, C delle forze P, Q, R si tirino sopra FH le perpendicolari AG, BH, IC, e parallelamente ad FH si tiri per lo punto C la DE che tagli in D, ed in E le perpendicolari AG, BH prolungate se l'uopo il richieda; talche si abbia $DG = IC = EH$. È chiaro i prodotti R. IC, P. AG, Q. BH essere i momenti della risultante e delle componenti, riferiti all'asse FH. Ma da quello che fu detto nelle note del capo precedente apparisce essere P. AC = Q. BC, equazione la quale diviene P. AD = Q. BE, essendo CB : CA = EB : AD per la similitudine de' triangoli ADC, ACE.

Ma è ancora la risultante $R = P + Q$; dunque R. IC = P. IC + Q. IC = Q. HE + P. GD. È poi $GD = AD \pm AG$, prendendo il segno + quando F è nel prolungamento di AB come nella fig. 6, ed il segno - quando F è nella linea AB come nella fig. 7; dunque si avrà R. CI = Q. EH + P. AD $\pm$ P. AG = Q. EH + Q. BE $\pm$ P. AG = Q. BH $\pm$ P. AG.

Dunque il momento della risultante è uguale alla somma, o alla differenza dei momenti delle componenti al medesimo asse riferiti; cioè alla somma quando questo asse passa per lo prolungamento della linea, che unisce le direzioni delle componenti, ed alla differenza quando passa per qualche punto della sopraddetta linea.

Si avverta che se la linea FH che abbiamo supposta inclinata comunque alla YZ; giri in modo che le divenga perpendicolare, le linee AG, BH, CI che misurano le distanze rispettive delle forze P, Q, R dalla retta FH gireranno ancora esse, e ridurrannosi tutte secondo YZ; si avrà $AG = AF$; $BH = BF$; $IC = CF$; ma sussisteranno sempre i rapporti dai quali si è dedotto l'antecedente teorema, e l'equazione R. CI = Q. BH $\pm$ P. HG, si ridurrà ad R. CF = Q. BF $\pm$ P. AF.

Dunque il momento della risultante di due forze parallele riferito ad un punto F preso sulla linea che

71

unisce le direzioni di queste è uguale alla somma o alla differenza dei momenti delle componenti riferiti al medesimo punto secondo che questo punto è preso sul prolungamento della linea AB come nella fig. 6 o nella linea stessa come nella fig. 7.

Date due forze PQ come sopra, per un punto F della retta YZ (Tav. agg. fig. 6, e 7) si conduca un piano MN, e dai punti A, B, C, in cui le direzioni di queste forze e della loro risultante R tagliano la retta YZ, si tirino perpendicolari a detto piano le AG, BH, CI, che saranno parallele tra loro. Siccome queste perpendicolari passano per tre punti A, C, B, della retta YZ, esse sono tutte in uno stesso piano condotto per YZ, ed in questo stesso piano saranno anche i loro estremi G, I, H, come il punto F. Ma questi quattro punti sono anche nel piano MN: son dunque nella retta nata dalla intersezione dei due piani. E però tirata nel piano MN la retta FGIH questa passerà per gli estremi delle linee AG, CI, BH, e farà con esse gli angoli retti. Dunque questa linea si può considerare come l'asse dei momenti; e quindi avremo $R \cdot CI = Q \cdot BH \pm P \cdot AG$, secondo che il punto F è preso sul prolungamento della linea YZ (fig. 6), o sulla linea stessa (fig. 7). Ora le perpendicolari CI, BH, AG misurando le distanze della risultante e delle componenti del piano MN, questa equazione dimostra che il momento della risultante delle forze parallele P, Q riferito ad un piano preso ad arbitrio è uguale alla somma o alla differenza de' momenti delle componenti riferiti allo stesso piano secondo che questo piano passa per lo prolungamento della linea che unisce le direzioni delle forze, o per qualche punto della medesima.

Siano le forze P, Q, R, S applicate ad un qualunque numero di punti i quali siano nello stesso piano o anche in piani diversi, ma invariabilmente tra loro uniti: Queste forze siano parallele e dirette per lo stesso verso, e trovinsi tutte dalla medesima parte di un pia-

no parallelo alle loro direzioni, al quale i momenti di queste si riferiscano. Si trovi da prima la risultante V di due forze P e Q , il momento di questa per le cose dette eguaglierà la somma de' momenti delle P , Q . E però componendo la risultante V con la forza R , avremo il momento della risultante X nata da questa composizione eguale alla somma de' momenti delle forze R , e V , o sia delle P , Q , R . Quindi il momento di V risultante di X e di S sarà eguale alla somma de' momenti delle forze X , S , ovvero delle P , Q , R , S . Operando in simil guisa per un qualunque numero di forze, apparirà, essere il momento della risultante di tutte eguale alla somma de' momenti delle medesime considerate come componenti.

Ma se nel sistema di forze parallele oltre le P , Q , R , S che trovansi dalla stessa parte del piano de' momenti, altre p , q , r , s ve ne siano poste dall'altra parte dirette anche per lo stesso verso, si troverà parimente la risultante γ di queste avere un momento eguale alla somma de' momenti delle medesime.

Or componendo tali due risultanti Y , γ , il momento della risultante di queste riferito al sopradDETTO piano compreso tra le direzioni delle medesime, sarà eguale alla differenza de' loro momenti. Si può dunque tener per dimostrato il seguente teorema generale:

Il momento della risultante di un sistema qualunque di forze parallele operanti per lo stesso verso è uguale alla somma o alla differenza de' momenti delle componenti riferiti ad un medesimo piano: alla somma quando tutte le componenti sono dalla medesima parte del piano; alla differenza quando alcune sono da una parte, alcune dall'altra.

Passiamo ora a considerare il caso delle forze che concorrono in un punto. Siano P , e Q due forze concorrenti nel punto A per le direzioni PA , QA : nel piano di queste direzioni si prenda un punto D il quale potrà prendersi dentro (Tav. agg. fig. 8), o fuori (fig. 9) dell'angolo PAQ , e del suo verticale: da

questo punto si tirino sulle direzioni delle forze suddette e sulla direzione AB della risultante R le perpendicolari DB, DC, DE. I prodotti P. DB, Q. DC, R. DE si dicono momenti delle forze P, Q, R riferiti al centro D. Tirata la linea AD, la forza P rappresentata dalla porzione AF della sua direzione si risolva nelle due p , p' , delle quali l'una p sia proporzionale alla porzione AG della detta linea AD, l'altra p' alla porzione AH della direzione della forza Q prodotta, se l'uopo il richiede: si compiano i parallelogrammi GH. È chiaro, che quando il punto D è fuori dell'angolo PAQ, la forza p' opera per lo verso della forza Q; opera per lo verso opposto quando D è dentro di cotesto angolo; onde la risultante delle forze coincidenti Q, p' nel primo caso è $Q + p'$, $Q - p'$ nel secondo, ed in generale $Q \pm p'$.

In oltre per la dottrina del parallelogrammo delle forze si ha $p. DC = P. BD$, essendo PA la direzione della risultante delle due forze p , p' (1).

Di più essendo le due forze P, Q eguali alle tre Q, p , p' , la risultante R delle forze P, Q può come la risultante di due forze p , e $Q \pm p'$ esser considerata.

Dunque R. DE = $(Q \pm p'). DC = Q. DC \pm p'$.

(1) Nel parallelogrammo delle forze dimostrasi dai meccanici il seguente teorema: siano F, F' le componenti (Tav: agg: fig: 10), ed N la risultante, due qualunque di queste tre forze stanno tra loro in ragione reciproca delle perpendicolari menate sulle loro direzioni da un punto qualunque preso nella direzione della rimanente. Infatti da quel che si disse nelle note al capo II apparisce, le tre forze venir rappresentate da' tre lati di un triangolo, e però essere $F : F' : R = IN : IM : MN$, ma dalla trigonometria si sa essere i lati del triangolo come i seni degli angoli che sottendono; dunque ognuna delle tre forze è proporzionale al seno dell'angolo contenuto dalla direzione delle altre due. Quindi chiamando m, n, r , gli angoli EMN, NMI, EMI; descritto col raggio MI l'arco IST, e tirate le perpendicolari IG, SQ sulla ME, e la perpendicolare IK sulla MN si avrà $F : F' : R = IK : SQ : IG = \text{sen. } m : \text{sen. } n : \text{sen. } r$. Or menando le rette SU, TY perpendicolari ad MI, e TX perpendicolare ad MN, poichè si ha $SU = IK$, $TX = SQ$, $TY = IG$, segue chiaramente la verità del teorema enunciato.

$DC = Q. DC + P. DB$, sostituendo in vece di p' . DC il suo valore poco fa ritrovato.

Onde nel caso delle forze concorrenti ad angolo, il momento della risultante riferito ad un centro preso fuori, o dentro dell'angolo delle forze, e del suo verticale, è eguale alla somma, o alla differenza de' momenti delle componenti riferiti allo stesso centro.

Supponiamo ora che il punto D sia fisso; che le perpendicolari DB , DC , DE sieno rette inflessibili, e che le forze P , Q , R siano applicate agli estremi di tali rette. Coteste forze dovranno ingenerare un moto di rotazione intorno a questo centro fisso. Basta portar lo sguardo sulla figura per intendere che quando il punto D è fuori dell'angolo PAQ e di quello che gli è opposto al vertice, le forze P , e Q , e la risultante di esse tendono a far rotare i loro punti di applicazione intorno a D per lo verso medesimo. Al contrario quando questo punto cade in uno de' sopradetti angoli, le forze P , e Q tendono a far rotare B , C per versi contrari, ed in tal caso la forza R tende a far rotare il suo punto di applicazione nel medesimo verso che quella delle due componenti che ha il momento maggiore. E però il precedente teorema si può anche così enunciare.

Il momento della risultante di due forze è eguale alla somma o alla differenza de' momenti di queste forze, secondo che esse tendono a far rotare i loro punti di applicazione per lo stesso verso, o per versi contrari; intorno al centro de' momenti preso nel piano de' medesimi, e considerato come fisso.

E questo teorema ha luogo anche nel caso che le forze sian parallele, imperciocchè i teoremi precedenti dimostrano che le proprietà de' momenti delle componenti relativamente a quello della risultante sono le stesse tanto per le forze parallele, quanto per quelle concorrenti ad angolo. Onde taluni meccanici sogliono dalle proprietà de' momenti delle forze che concorrono ad angolo derivare quelle de' momenti delle forze paral-

lele , considerando queste ultime come concorrenti all' infinito.

Dal detto fin quì di leggieri s' intende , che dato un numero qualunque di forze P, Q, R, S , ecc ; p, q, r, s ecc: le direzioni delle quali siano in un medesimo piano , se si riguardi il centro de' momenti come un punto fisso , intorno al quale tendano a far rotare il sistema de' loro punti di applicazione ; il momento della risultante è eguale alla somma de' momenti delle forze che tendano a far rotare per lo stesso suo verso , la somma di quelli che tendono a far rotare per lo verso contrario. Ed in fatti suppongasi che le forze P, Q, R, S tendano a far rotare per un verso, e le altre p, q, r, s per lo verso opposto. Sia Y la risultante delle prime , ed y delle seconde. Sia Z la risultante delle Y, y ; sia M il momento di Z , m il momento di Y , ed m' il momento di y , avremo $M = m - m'$, o pure $M = m' - m$ secondo chè m sarà maggiore o minore di m' , dovendo sempre essere M positivo imperocchè il segno positivo è preso per lo verso della risultante. Nel primo caso la forza Z tende a far girare il sistema per lo stesso verso delle P, Q, R, S , e noi supponiamo questo , talchè si abbia $M = m - m'$. Ma m è uguale alla somma de' momenti di tutte le forze che operano per lo stesso verso di Z , m' la somma de' momenti delle forze che operano per lo verso opposto ; dunque questa formola esprime il teorema enunciato per un numero qualunque di forze. Dalle dottrine esposte chiaramente segue, che se la risultante passi per lo centro de' momenti, il suo momento sarà eguale a zero ; e però quando l'equazione $M = m - m'$ si ridurrà ad $m - m' = 0$, ovvero $m = m'$, non si avrà rotazione, ed il sistema non potendo avere un moto progressivo , è mestieri che resti in equilibrio.

Dell' equilibrio. Affinchè un corpo riducasi in equilibrio è mestieri che le forze onde è spinto non possano produrre in esso alcun moto, nè progressivo, nè di rotazione: vale a dire che il corpo non possa seguire l'andamento della risultante, nè possa rotare intorno di alcun asse. È però determinare in generale le condizioni di equilibrio di un corpo è lo stesso che determinare le condizioni necessarie perchè resti impedito ogni moto progressivo o di rotazione che ingenerar si potrebbe in un corpo per un sistema di forze in qualunque maniera adattate al medesimo.

Dirò alcune cose più semplici intorno alla maniera d'impedire il moto progressivo e quello di rotazione, richiedendosi per la piena intelligenza di queste dottrine cognizioni di geometria a due, e tre coordinate le quali non suppongo nella generalità de' giovani studenti.

Prima di tutto egli è chiaro che per impedire il moto progressivo di un corpo uopo è che sia uguale a zero la risultante di tutte le forze dalle quali è spinto. È chiaro egualmente potersi il moto progressivo del tutto impedire con opporre alla risultante una forza che sia perfettamente eguale.

Per conoscere poi come si possa in un corpo il moto di rotazione impedire, uopo è innanzi tratto osservare, che dato un cerchio il quale possa avere solamente un moto di rotazione intorno al suo centro A (Tav. agg. fig. 11), se una potenza P sia applicata al punto B della circonferenza di esso, ed operante nella direzione PB tangente in B, questa tenderà a farlo girare nella stessa guisa che se fosse applicata ad un altro punto C, ed operasse secondo C p tangente in C. E per fermo supponiamo al punto C applicate due forze p, p' uguali a P e quindi tra loro, operanti per versi contrari per la linea p C p' tangente al cerchio nel punto C: le due forze aggiunte perchè eguali distruggerannosi a vicenda e non produrranno

alterazione veruna sull'effetto della forza P , il quale come prodotto dall'insieme delle tre P , p , p' puossi considerare. Prodotta intanto la BP , finchè tagli in D la pCp' , la forza P , e l'altra p' intendansi applicate in D . Queste forze essendo eguali la risultante di esse è chiaro dover dividere l'angolo CDB per metà, e però seguirà la direzione DA passando per lo centro A , onde non potrà concorrere a far rotare il cerchio il quale dovrà solo rotare per l'azione della forza p . Dunque questa forza produrrà lo stesso effetto della forza P , e solo da questa si distingue perchè applicata ad un diverso punto e diretta per altra linea, il che voleasi dimostrare.

Ma l'effetto della forza P applicata in B si esprime per lo momento $P \cdot AB$, e per lo momento $P \cdot AC$, allorchè s'intende applicata in C , e questi momenti sono evidentemente eguali; dunque per quanto vari la direzione di una forza purchè resti nel medesimo piano, e sia egualmente lontana dal centro di rotazione, il momento sarà sempre lo stesso, ed avrà sempre la stessa efficacia nel produrre il moto di rotazione.

Se dunque si debba valutare l'efficacia delle forze nel produrre il moto di rotazione, sia quale si voglia la direzione di esse potranno tutte come parallele esser considerate, e per lo stesso verso operanti, e però la risultante dovrà esser sempre la stessa.

Supponiamo adunque in un dato sistema di forze esser Y la risultante di quelle che tendono a far rotare per un verso il corpo cui sono applicate, e y la risultante di quelle che tendono a farlo rotare per lo verso contrario. Se i momenti di esse $Y \cdot MA$, $y \cdot NB$ riferiti all'asse Or (Tav. agg. fig. 12) siano eguali non potrà aversi alcuna rotazione. Imperciocchè le rette AY , By rappresentando forze parallele, operanti per lo medesimo verso, e giacenti in piani perpendicolari all'asse Or , si potrà far passare per l'asse un piano perpendicolare a AY , il quale sarà anche

perpendicolare a By ; e se dai punti A, B ne' quali questo piano taglia le suddette linee, si tirino le perpendicolari AM, BN sull'asse, saranno queste le distanze delle direzioni delle forze dall'asse, le quali moltiplicate per le rispettive forze ne daranno i momenti. Or se tirisi la retta AB , essa incontrerà l'asse Or in un punto K , ed avremo da' due triangoli simili AKM, BKN la proporzione $AK : BK = AM : BN$; ma per ipotesi $Y. AM = y. BN$, dunque sarà $AM : BN = y : Y$; onde è chiaro che per lo punto K dell'asse Or passa la direzione della risultante delle forze parallele Y, y , perciò il momento riferito all'asse suddetto essendone eguale a zero, queste due forze non tenderanno a far girare il sistema intorno al medesimo.

Or siccome il momento $Y. MA$ è eguale alla somma de' momenti delle componenti di Y , ed il momento $y. BN$ alla somma de' momenti delle componenti di y , così puossi in generale tener per fermo, che nel caso che sia impedito il moto di rotazione di un corpo, cui sia applicato un sistema di forze, la somma de' momenti delle forze che tendono a far rotare il corpo per un verso intorno ad un asse, deve essere eguale alla somma de' momenti di quelle che tendono a farlo rotare per lo verso opposto.

Dalle cose finora discorse segue anche, che per impedire il moto di rotazione di un sistema intorno di un asse uopo è che siavi una forza che tenda a far girare il sistema per lo verso opposto, e che sia applicata a tal distanza dall'asse in modo che ne risulti il momento eguale a quello della risultante delle forze date.

Segue anche, ad una forza P producente un moto rotatorio potersi un'altra forza Q sostituire, la quale sia maggiore o minore, senza indurre alterazione alcuna nel moto, purchè si applichi ad un punto tanto più o men vicino all'asse, quanto essa è meno o più grande, cioè purchè i momenti delle due forze restino eguali.

Le condizioni necessarie ad impedire il moto progressivo e rotatorio essendo le stesse di quelle che averar si debbanó per aver l'equilibrio, ne segue che con la disamina breve ed elementare che si è fatta delle prime siansi anche le seconde fermate. Onde ciascuno intenderà che per ridurre un corpo all'equilibrio è mestieri.

1. Che la risultante di tutte le forze sia eguale a zero: e quest' unica condizione è sufficiente per l'equilibrio di un puuto il quale non può mai ricevere un moto di rotazione.

2. Che la somma di tutt' i momenti riferiti ad un asse sia eguale a zero, ovvero, che la somma de' momenti che tendono a far girare il sistema per un verso, sia eguale alla somma di quelli che tendono a farlo girare per lo verso opposto.

Queste poche nozioni intorno alla teorica de' momenti ed alle condizioni dell'equilibrio saran sufficienti per potere intendere le condizioni di equilibrio nelle diverse macchine semplici, ed altre verità delle quali si parlerà appresso. Non parlo del famoso principio delle celerità virtuali escogitato dal Galilei, e per le mani del De la Grange divenuto fecondissimo, inviando gli studiosi alla più volte citata opera del Gerbi dalla quale son ricavate, e quasi tolte di peso parecchie delle dottrine esposte in questo supplimento. Ho citato il Gerbi e non gli autori di meccanica perchè costui si è adoperato di scrivere in guisa che anche i poco versati nelle matematiche potessero far tesoro di molte verità, senza che abbia trascurato l'esposizione delle teoriche più sublimi.

LIBRO PRIMO

DELLA GRAVITÀ

CAPO PRIMO.

DEGLI EFFETTI E DELLA DIREZIONE DELLA GRAVITÀ.

35. I corpi se vengono a so stessi abbandonati cadono fino a che non toccano la superficie della terra o qualche altro corpo che li trattenga. Questo fenomeno succede sulla superficie della terra come continuamente osservasi, e succede anche nel cielo a grandi altezze, e puossi giudicarlo dalla grandine e dalla pioggia che cadono dall' altezza delle nubi; esso ha luogo anche a grandi profondità sotto la superficie della terra, siccome osservasi ne' pozzi nelle cantine, nelle cave le più profonde che siansi potute scavare. Se le montagne sprofondano, la ragione è perchè ne vien meno la base la quale sicuramente trovasi ad una profondità maggiore di quella delle cave: esse cadono per mancanza di un sostegno valevole a reggerne il peso. Or la materia essendo inerte, e non potendo da se nè porsi in moto, nè alterare quello che ha, chiaro si scorge che essa non potrebbe discendere verso la terra, perciocchè dovrebbe dar moto a se stessa, conviene dunque che siavi una forza che la faccia cadere alla quale si è dato il nome di *gravità*.

Onde la *gravità* è la forza che fa cadere i corpi. Ma questa definizione darebbe della gravità un' idea molto imperfetta, se si volesse supporre la gravità non potere altro effetto produrre, tranne quello di far *cadere* i corpi. Convien osservare altri fenomeni ed altri moti i quali da questa forza produconsi, nel comune linguaggio con diverse voci indicati. Tal è per

esempio il moto de' liquidi che scorrono da' vasi , il moto de' fiumi verso del mare , il moto del sughero e de' corpi leggieri i quali dal fondo dell' acqua salgono verso la superficie : è tale anche il moto del fumo della nebbia , e de' palloni che salgono nell' aria. Tutt' i fenomeni che sembrano contraddire la gravità , altro non sono che svariati effetti della stessa forza che *gravità* abbiain chiamata.

Per comprendere interamente una forza pe' suoi risultamenti cotanto seconda , dobbiamo esaminare tutti i molteplici fenomeni che essa può produrre, ed indi le leggi secondo le quali opera , a teuore de' luoghi ne' quali trovansi i corpi , e secondo la disposizione delle particelle de' medesimi e la materia dalla quale son formati.

Vedrem tosto la gravità operare quasi su tutt' i corpi i quali possono essere oggetti di nostra osservazione , ma operare su di essi per farli cadere con differenti velocità. Le pietre ed i metalli cadon più celeri de' legumi e delle altre sostanze vegetabili : v' ha de' corpi quali sono le piume, la calugine, i fiocchi di neve sembrano appena pesanti , perciocchè galleggiano nell' aria , e cadono con somma leutezza. Da questi primi fatti segue che se la gravità non è una forza universale è almeno generale assai , perciocchè solo un picciol numero di corpi quali sarebber la fiamma ed il fumo , sembrano sottrarsi al suo potere. Questo almeno succede ne' nostri climi , e di cui siam testimoni fin dalla nostra prima età : ma la terra è sì graude che noi siam curiosi di sapere , ciocchè in altri luoghi avviene, vale a dire su i mari lontani, sulle isole, su i continenti i quali non hanno le medesime stagioni, nè la stessa posizione per rispetto all'asse del mondo. Toccava a' viaggiatori d'istruirci intorno a queste cose, ed essi ci assicurano che sebbene da un paese all' altro veggasi variare gli uomini, l'aspetto del cielo, le produzioni del terreno, pure avvi una cosa che in mezzo a tante varietà invariabil rimane , e questa è la gra-

vità : essa opera dovunque sempre nella stessa guisa , tanto nella superficie del mare quanto sulla terra ferma , tanto nelle regioni polari quanto nelle regioni equatoriali. E sebbene alcune picciolissime differenze si rinvencono , pure queste non sono affatto sensibili ne' più comuni fenomeni ; e però può bene affermarsi non solo la gravità operare su tutt' i corpi , ma operare anche presso a poco della stessa maniera su tutt' i corpi posti sul vasto spazio del globo terrestre.

36. *Direzione della gravità.* — Per determinare la linea per la quale i corpi cadono , si potrebbe seguirli con l' occhio accostandovi un regolo dritto rassente il quale dovesser discendere , ma si presenta un mezzo più spedito, il quale consiste nel fissare l'estremo di un filo, ligando all'altra estremità una pallina alquanto pesante. La direzione del filo quando è in quiete è appunto la direzione della gravità , perciocchè se questa operasse secondo un' altra linea , trarrebbe il corpo secondo quest' altra direzione. Questo picciolo strumento vien detto *filo a piombo* o anche *pendolo* , e la linea nella quale disponesi allorchè è in quiete dicesi *verticale* (fig. 28) ; onde la direzione della gravità è quella del filo a piombo o della verticale , e non v' ha cosa più facile quanto il rinvenirla in qualunque luogo della terra.

Supponiamo che avendo fatta ieri cotesta esperienza oggi la facciamo di nuovo ; non potremo affatto conoscere se fra questo tempo il filo a piombo abbia sofferto alcun cambiamento. Uopo sarebbe avere de' punti fissi cui si potessero riferire le direzioni del filo, per paragonarle dopo. Un solidissimo edificio non può aver mai una stabilità sì grande da soddisfare a questo obbietto , imperocchè se dopo qualche tempo non si trovasse più il filo a piombo nella medesima linea per rispetto al numero o alle sue estremità , non saremo nel caso di poter conchiudere alcuna cosa ; sapremo solo essere intervenuto un cambiamento , ma ignoreremo se questo si debba alla direzione del filo,

o alla stabilità dell' edificio attribuire. La schiena o i burroni delle montagne non sarebber segni men dubbj ; perciocchè un monte sulla terra è anch' esso una cosa instabile , bastandovi un tremuoto per ruinarlo. Per la qual cosa essendo mobile intorno a noi , non possiam mai avere un punto fisso, nè sulla pianura, nè sulle montagne , per poter giudicare se la gravità sia costante o vari col decorso de' secoli.

Fortunatamente abbiamo un' altro mezzo , imperocchè la superficie del mare , tuttochè mobilissima , ci presenta nella sua general direzione e ne' suoi limiti la più grande stabilità che osservar si possa sulla terra ; dappoichè un cambiamento di livello anche picciolissimo, grandi inondazioni e forse anche un diluvio produrrebbe ; ora non per un caso ma per una ragione della quale discorreremo in idrostatica , avviene, che la direzione della gravità sia perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti ; dunque se la gravità variasse varierebbe anche il mare , e però puossi da questo conchiudere la direzione della gravità esser costante.

In vece di dire esser la direzione della gravità perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti , alle volte dicesi perpendicolare alla superficie della terra. Ma ognun comprende non volersi intendere la superficie reale con le valli e co' monti , ma una superficie immaginaria che si considera nella seguente maniera : figuriamoci che l' oceano Atlantico il mare del Sud e tutt' i mari che hanno scambievole comunicazione sian per poco tranquilli , l' ampia superficie di essi sarà una porzione di superficie sferica il perimetro della quale sarà determinata dalla sinuosità di lidi. Supponiamo intanto prolungate queste superficie in guisa da conservare l' andamento di lor curvatura , in guisa che penetrando sotto la terra si congiungessero ; esse farebbero un globo di superficie perfettamente levigata senza monti e senza valli. Questa superficie in parte esistente , in parte immaginata , dicesi *superficie della terra* , *superficie di livello* , *superficie orizzontale* ,

espressioni tutte sinonime. Allorchè dicesi essere l'osservatorio di Parigi a 65 metri al di sopra della superficie del mare ciò significa che se questa superficie fosse prolungata passerebbe al di sotto del pianterreno dell' osservatorio ad una profondità di 65 metri. Al contrario sonovi in Olanda delle pianure le quali sono al di sotto del livello del mare, vale a dire che la superficie prolungata passerebbe sul capo degli abitatori di queste pianure.

La *superficie della terra* quale si è per noi definita, potrebbe col tempo innalzarsi o abbassarsi, allontanarsi dal centro o avvicinarsi al medesimo; ma se, per qualche causa interna o esterna, essa perder potesse la sua figura, tosto la terra cambierebbe il suo moto diurno, uscirebbe dalla sua orbita, che va percorrendo da tanti secoli, e sarebbe forse spinta in qualche altro angolo dell' universo. Per la qual cosa la stabilità della superficie delle acque dipende da quella della terra e del mondo.

La superficie di un lago sia nelle pianure sia nelle montagne è anche una superficie di livello, vale a dire che se dalle sue sponde si abbassassero delle perpendicolari sulla superficie innanzi detta, queste vi seguirebbero una superficie simile a quella del lago, ed in tutti i punti equidistante da essa. Lo stesso dee dirsi delle superficie delle acque stagnanti, o che si considerino nella profondità de' pozzi o ne' vasi ampi, perciocchè tutte sono orizzontali e tutte perpendicolari alla direzione della gravità.

Da queste fondamentali verità segue, tutte le direzioni della gravità concorrere verso il centro della terra, perciocchè tutte le perpendicolari ad una superficie perfettamente sferica vanno ad unirsi al suo centro. Così $abpdx$ (fig. 20) rappresenti la sezione della terra fatta secondo il meridiano di Parigi, ed ax sia l'asse di rotazione, succedea per le distanze in latitudine che Parigi sta in p , essendo ph il suo orizzonte, ed il suo filo a piombo pc ; che Dunkere sta in dc

ad una distanza di $2^{\circ} 11' 56''$, la linea orizzontale di Dunkerc in dh' ed il suo filo a piombo nella direzione di d ; finalmente che Barcellona sta in b a $7^{\circ} 28' 29''$ più verso il mezzo-giorno, l'orizzontale di Barcellona è in bh'' ed il suo filo a piombo in bc .

Un osservatore il quale si trovasse molto lungi dalla terra da potere osservare nello stesso tempo il filo a piombo di Parigi e quello di Barcellona vedrebbe che essi son veramente inclinati l'uno verso l'altro di $7^{\circ} 28' 29''$, e potrebbe inferirne, che essi incontrerebbonsi nel centro della terra. Allorchè si fanno l'esperienza in piccole estensioni, comè in un appartamento o in una grande città, i fili a piombo sembrano perfettamente paralleli, perciocchè il centro il quale è il punto ov'essi diriggonsi sta ad una distanza di circa 1432 leghe ognuna di 2280 tese, o di 1632 leghe di posta ognuna di 2000 tese: ora 100 tese, per esempio, essendo quasi la trentamillesima parte di questa distanza, due fili a piombo i quali sono fra loro per 100 tese lontani, danno un'inclinazione di $6''$, 3. Ma se è così, non si saprebbe a prima vista intendere come si possa misurare l'angolo di due verticali appartenenti a due punti diversi, perciocchè se questi punti son vicinissimi l'angolo riescé piccolissimo ed incapace di esser misurato, se poi son molto lontani non si può nello stesso tempo veder le direzioni delle due verticali, nè l'angolo che esse fanno; ogni misura dunque sembrerebbe impossibile, e lo sarebbe di fatti se non avessimo nel cielo de' punti di osservazione, de' quali possiamo giovarci. Le stelle sono per gli abitatori terrestri come de' bastoni da livello; e però osservando queste noi possiamo misurare i nostri angoli, e segnar le nostre linee. La distanza del sole dalla terra è di 35 milioni di leghe, quella della terra dalle stelle è di 400, o 500 mila volte 35 milioni di leghe; onde in qualunque punto della sua orbita la terra ritroyisi, in qualunque punto della superficie terrestre sia posto un

osservatore , i raggi visuali diretti alla stella medesima son sempre linee parallele.

Premesse tali cose , quando una stella passa per lo meridiano e viene osservata contemporaneamente da Dunkerc e da Parigi i due raggi *de* e *pe* (fig. 3o) son paralleli , ma i due angoli che essi fanno con le verticali sono disuguali , e l'angolo di Parigi *epv* è precisamente eguale all'angolo di Dunkerc *edv'* , ed all'angolo *pcd* delle due verticali , il quale per conseguenza esprime la distanza angolare di Dunkerc da Parigi.

Ecco dunque qual direzione prende la gravità intorno intorno alla terra , e come è possibile di paragonar questa direzione nei differenti luoghi. Quì si presenta da se una conseguenza , la quale è , che dopo aver osservato l'angolo delle verticali di Dunkerc e di Parigi , ed averlo trovato di $2^{\circ} 11' 56''$, si può misurare in tese o in metri la distanza di queste due Città ; e conoscendo in tal guisa la lunghezza di quest' arco di $3 11' 56''$, si può dedurre l'intera lunghezza della circonferenza della terra , e quindi la misura del suo raggio , siccome in uno de' seguenti capi si dirà.

CAPO II.

Della caduta de' corpi e delle leggi della gravità.

37. Allorchè si fa cadere una palla di piombo ed un picciol disco di carta , si resta sorpreso in vedere la differenza delle velocità , perciocchè la palla cade velocissimamente , e la carta con molta lentezza ; e puossi anche osservare che il primo di còtesti corpi cade a piombo seguendo la verticale , mentre l' altro più o men divertendone scende per una linea tortuosa. Questo fatto è prodotto dall' aria , imperciocchè i corpi non possono cadere senza rimuoverla , e quindi senza divider con essa il moto che hanno , ed in questa divisione la carta perde più moto del piombo. Si avreb-

bero effetti analoghi ed anche più sensibili se si facesser cadere differenti corpi in un tubo pieno d'acqua, essendo la resistenza dell'acqua, di quella dell'aria maggiore.

Per poter conoscere il vero moto de' gravi, converrebbe farli cadere nel vòto (§ 2), vale a dire in uno spazio nel quale non vi fosse nè aria, nè acqua, nè alcun altra materia che presentar potesse resistenza, opponendosi alla forza di gravità. Uno spazio di questa natura si ottiene per mezzo della macchina pneumatica, la quale ci dà il vòto estraendo l'aria da un recipiente, siccome appresso si dirà. Con l'aiuto di questa macchina si fa l'esperienza della caduta de' gravi nel modo che segue.

Si prende un tubo di vetro della lunghezza di otto o dieci piedi chiuso da una parte ed armato dall'altra di una chiavetta (*robinet*) della forma comune, capace a mantenere il vòto: per lo forame della chiavetta si fanno entrare nel tubo de' pezzetti di piombo, di carta, di piume ecc.; si fa il vòto con molta diligenza, e chiudesi la chiavetta. Allora capovolgendo il tubo in un attimo, per recarlo in posizione verticale, si vedrà cader tutti siffatti corpi nell'interno di questo con la stessa velocità, in guisa che tutti giungeranno a toccare il fondo del tubo nello stesso tempo.

Questa esperienza puossi modificare in guisa da render sensibile il progresso del fenomeno: si apra un pocolino la chiavetta e poi tosto si chiuda; allora un poco d'aria è già entrata nel tubo, come si è potuto giudicare dal sibilo che si è inteso; or nel capovolgere il tubo come poco prima si è fatto, si uoterà un poco di differenza nel tempo della caduta, imperocchè la carta e la piuma cadranno dopo del piombo. Un poco d'aria di più fa crescere il ritardo, e così progressivamente fino a che essendo entrata interamente l'aria nel tubo, la caduta avverrà come nell'aria libera.

Onde se la gravità opera sola, se non le si oppone alcuna resistenza che impedisca i suoi effetti, essa

spingerà i corpi con pari energia, dando ad essi la stessa velocità, sia quale si voglia il peso, e la sostanza de' medesimi. Nel vòto una massa d'oro di cento libbre non cadrebbe con maggiore velocità di un pezzetto d'oro fatto a foglia, o di un pezzetto di carta; una montagna non cadrebbe con velocità maggiore di una piuma⁽¹⁾.

28. Dopo di aver dimostrato co' fatti che tutt' i corpi cadono con la stessa velocità; uopo è cercare quale è questa velocità che regola la caduta di ogni corpo, ed, in generale, quale relazione vi ha tra lo spazio che un grave percorre, ed il tempo che impiega a percorrerlo. E questa relazione appunto sarà la legge della gravità, vale a dire la legge del moto che la gravità imprime a' corpi.

E siffatta quistione non può in una maniera diretta esser risolta, perocchè i gravi cadendo van sì presto, che dopo un tempo brevissimo non è possibile di notar lo spazio che percorrono, ma quello che non puossi mercè di osservazioni dirette conseguire, si ottiene per alcuni mezzi indiretti; de' quali il più semplice è il *piano inclinato del Galilei*, ma il più esatto si ha nella *macchina di Atwood*.

(1) Che tutti i corpi nel vòto debban cadere con la stessa velocità fu dagli antichi sospettato, onde Lucrezio nel libro II *de rer. nat.* della gravità discorrendo dice:

*Omnia quapropter debent per inane quietum
AEque; ponderibus non aequis, concita ferri*

» Onde tutte le cose ancor che mosse

» Da pesi disuguali, aver dovranno

» Per lo vano quieto, egual prestezza.

Il Galilei poi nel Dialogo I, ed in una lettera indiritta al Bertizzolo, sostenne con ragionamenti la stessa verità, che si studiò anche con alcune esperienze di confermare. Finalmente il Newton tolse quasi ogni dubbio, ed ora ogni macchina pneumatica va corredata del cilindro per isperimentare la discesa de' gravi nel vòto; sebbene noi sogliamo fare questa esperienza in una maniera alquanto diversa da quella descritta dall' Autore, e forse anche più comoda. Da questa verità di fatto ne segue immediatamente un' altra ed è, che la gravità sia una forza proporzionale alle masse, conciossiachè si sa per le cose innanzi dette, che quando $V \equiv v$ allora convien che si abbia $F : f \equiv M : m$; cioè che velocità eguali suppongono forze proporzionali alle masse.

39. *Piano inclinato del Galilei* — Il così detto piano inclinato del Galilei, in effetti altro non è se non una linea inclinata sulla quale scorre un mobile; esso riducesi ad una corda levigatissima, della lunghezza di venti o trenta piedi, la quale si tien tesa fra due punti fissi, l'uno de' quali è dell'altro più basso, e sulla quale si fa scorrere un piccol carretto, o una puleggia di metallo convenevolmente disposta. Se la corda fosse orizzontale, la gravità della puleggia sarebbe interamente distrutta, avrebbe al contrario tutta la sua efficacia se fosse verticale, ma essendo in vece inclinata, la gravità sarà ridotta ad una certa proporzione. Egli è facile di vedere mercè le regole della statica, che il valore della gravità sul piano inclinato è eguale al suo valore primitivo moltiplicato per lo seno dell'angolo dell'inclinazione del piano. Ma sia quale si voglia la ragione secondo la quale una forza diminuisca, riducasi pure alla sua metà, terza o quarta parte, altro non si cambierà fuorchè il moto assoluto che essa dà, senz'alterare per nulla la relazione tra lo spazio ed il tempo. E però la legge alla quale vedremo ubbidire i corpi che scendono per questo piano inclinato sarà la vera legge della gravità. Or se si lasci scendere il carretto per un dato tempo, se si noti lo spazio percorso nel primo minuto secondo di tempo, ne due primi ecc: si troverà che questi spazi saran come i quadrati de' tempi impiegati a percorrerli. Dunque il moto prodotto dalla gravità segue la stessa legge, onde essa è una forza acceleratrice costante (§ 34) (1).

(1) Sia il piano AB comunque inclinato all'orizzonte (Tav. agg. fig. 13) e sopra di esso sia il corpo *mnpqr*; è chiaro, una parte della gravità di questo corpo dover rimanere distrutta dalla resistenza del piano AB. La linea DO perpendicolare all'orizzonte rappresenti la *gravità assoluta* del corpo cioè quella con la quale esso scenderebbe per la libera verticale, risolta questa nelle due DS, DE, una delle quali sia perpendicolare l'altra parallela al piano, si vedrà chiaramente, il corpo doversi muovere lungo il sopradetto piano solo per effetto della DE = SO, onde volendo conoscere qual ragione serbi alla gravità assoluta questa forza che *gravità relativa* suolsi chiamare, conver-

40. *Macchina di Atwood* — Cotesta macchina è rappresentata dalla fig. 31. Ma per rendere il ragionamento più semplice, noi la ridurremo a' suoi elementi essenziali, vale a dire ad una girella perfettamente mobile sulla quale passa un filo finissimo, tirato da' due estremi da eguali pesi m (fig. 32). L'equilibrio ha luogo non solo quando i due pesi sono a livello, ma anche quando uno è più alto ed un altro più basso, siccome puossi con l'esperienza facilmente conoscere. Aggiungiamo intanto da una parte un piccolo peso che esprimiamo con n ; è facile ad intendere esser distrutto l'equilibrio, ed il peso n trarre in basso il peso sul quale si trova; ed in alto l'opposto.

Ma quale sarà il moto che dee prodursi? Sarà forse lo stesso di quello che il grave n acquisterebbe per la libera caduta, o rimarrà alterato per lo grave opposto che muovesi con esso?

Le due masse primitive non avendo altro moto tranne quello ad esse impartito dal grave n , si rende aperto, non poter questo darne a tali gravi, se non scemando il proprio, perdendone quanto ne dà, e però dovere scendere con velocità minore di quella

rà por mente alla similitudine de' due triangoli ABC, DSO, da quali si ha $DO : DS = AB : AC$, onde chiamando g la gravità assoluta

ta e g' la relativa sarà $g : g' = AB : AC$, e però $g' = g \frac{AC}{AB}$. — Che se

si consideri essere $AB : AC = 1 : \text{sen } B$, allora sarà la gravità relativa, o $g' = g \cdot \text{sen } B$, come l'Autore ha enunciato. Dalla espressione $g' = g \frac{AC}{AB}$

sione $g' = g \frac{AC}{AB}$ si vede la gravità relativa esser sempre una

frazione della gravità assoluta essendo sempre $AC < AB$, e però la forza acceleratrice per lo piano inclinato potrassi diminuire ad arbitrio, fino a che non sia distrutta dall'attrito. E per fermo, volendo fare che la gravità relativa sia $\frac{1}{64}$ della gravità assoluta basterà fare $AB : AC = 64 : 1$, e si avrà tosto $g' = \frac{1}{64} g$.

con la quale scenderebbe se fosse solo. È facile poi il conoscere di quanto questa velocità siasi scemata.

Sia g la velocità che un corpo dalla gravità riceve in un minuto secondo di tempo; la massa n dunque, cadendo liberamente, avrebbe alla fine di un secondo la stessa velocità g , e però una quantità di moto $g n$.

Sia x la velocità sconosciuta che dopo un secondo avrebbero le due masse m e la piccola massa n cadendo unite; la quantità di moto del sistema farà $x (2 m + n)$, imperciocchè la massa in moto da una parte è m , e dall'altra $m + n$, la somma delle quali è $2 m + n$. Ora in un minuto secondo la massa n riceve dalla gravità la stessa quantità di moto, sia che cada liberamente; sia che soffra un certo ritardo per cagione di altra massa. Dunque,

$$x (2 m + n) = g n, \text{ d'onde ricavasi } x = g \cdot \frac{n}{2m+n}$$

Ed ecco la velocità con la quale cade un corpo nella macchina di Atwood. Essa è sempre minore di g , e può esserne una frazione picciola per quanto ci piacerà. Se vogliasi, per esempio, che ne sia un centesimo, basterà il porre $\frac{n}{2m+n} = \frac{1}{100}$, d'onde ricava-

$$\frac{n}{2m+n} = \frac{1}{100}, \text{ d'onde ricava-}$$

$$\text{si } 100 n = 2m + n, \text{ ed } n = \frac{m}{49,5}; \text{ vale a dire che}$$

in ciascuno istante la velocità della caduta nella macchina di Atwood è la centesima parte della velocità della caduta libera, quando la massa aggiunta e la parte 49, 5 di una delle masse primitive. E prendendo, per esempio, $n = 10^{\text{gr}}$ ed $m = 495^{\text{gr}}$, la condizione sarà adempita.

Avvi grande utilità nel ridurre così la velocità dei gravi cadenti, perciocchè puossi allora non tener conto della resistenza dell'aria, e misurare gli spazi per-

corsi con maggiore esattezza. Cotal riduzione di velocità è il vero principio della macchina di Atwood. Eccone intanto la disposizione.

1.° Per evitare l'attrito ciascuna estremità dell'asse della girella si fa posare su due altre rotelle minori i cui assi terminano in punte le quali girano ne' corrispondenti buchi fatti in acciaio o in agata (fig. 34).

2.° Per misurare con esattezza gli spazi, suolsi porre vicino alla colonna una riga verticale e divisa r , in modo che la massa $m + n$ debba seguirla nella sua caduta senza toccarla. Su questa riga muovonsi due pezzi corsei, l'uno a in forma di anello entro il quale possa passare la massa m ed arrestare l'altra n la quale perciò si fa più lunga, e l'altro c di figura spianata per poter trattenere la massa m , fermandola dove si vorrà.

3.° Per misurare il tempo durante il quale il mobile ha camminato si aggiusta vicino alla macchina un'orologio a secondi h e si fa comunicare con un grilletto particolare d il quale sostiene la massa $m + n$ di rincontro alla parte superiore della riga ove sta lo zero della sua divisione.

In un istante dato il grilletto si rimuove, il peso cade, e l'orologio continua a segnare il tempo che passa (fig. 31, e 33).

Le esperienze si fanno nel modo seguente. Si situa l'anello della riga ad una altezza tale da rattenere la massa n dopo un secondo di tempo da che il corpo abbia cominciato a discendere. Per conseguire ciò s'innalza, o si abbassa l'anello a poco a poco fino a che il rumore che fa la massa n nel colpirlo coincida esattamente con la oscillazione dell'orologio la quale indica la fine del minuto secondo. Quando n si è arrestata, non cessa ogni moto, perciocchè le masse m hanno una *velocità acquistata* mercè la quale esse continuano a muoversi: la gravità però non più opera per alterare il moto di queste, perocchè essendo n tolta, è tolta la forza acceleratrice, ed il moto che segue è

mestieri che sia uniforme. Ora dopo ciò che si è detto (§ 33) segue, la velocità di questo moto uniformè essere appunto quella del moto accelerato che avrebbe luogo alla fine del primo minuto secondo, e per rinvenirla esser sufficiente di collocare il pezzo orsoio c di maniera che m venga a colpirlo precisamente un secondo dopo che n sia stata arrestata, vale a dire due secondi dopo la partenza di n . Allora la distanza tra i due pezzi corsoi a , e c , è lo spazio che m ha percorso in un minuto secondo con moto uniforme: questo dunque esprime non solo la velocità di tal moto uniforme ma anche quella del moto uniformemente accelerato. Fassi una seconda esperienza col torre la massa n dopo due secondi: fassene una terza togliendola dopo tre secondi, e così hassi la velocità del moto accelerato dopo uno, due, tre secondi. Trovasi, queste velocità esser precisamente tra loro come uno due tre; dunque esse crescono in proporzione dei tempi, dunque il moto del quale si parla è uniformemente accelerato.

Questo risultamento sarebbe sufficiente per farci conchiudere lo spazio percorso con moto uniformemente accelerato durante un certo tempo, esser la metà di quello percorso nel tempo medesimo col moto uniforme che ad esso succede. Ma si potrà direttamente la stessa cosa conoscere, perciocchè in ciascuna delle antecedenti esperienze la distanza dei pezzi corsoi è doppia della distanza dell'anello dal punto di partenza.

Similmente potrebbesi dedurre, mercè il calcolo, che gli spazi sono come i quadrati dei tempi, ma è facile l'intendere come puossi dimostrarlo anche per mezzo della macchina.

Queste esperienze corrispondono a quelle con le quali il Galilei provava che la gravità che ha luogo sulla superficie della terra è una forza acceleratrice costante. La caduta nel vuoto ha fatto già conoscere che essa opera egualmente sopra tutti i corpi. Onde tutte le molecole materiali sia qualunque la forma, o la

natura di esse , soggiacciono sempre all' azione di questa forza.

Premesse tali cose potrassi di leggieri comprendere, che le leggi del moto ingenerato per gravità possono esprimersi con le formole generali del moto uniformemente accelerato (§. 34) ,

$$v = gt$$

$$s = \frac{gt^2}{2}$$

nelle quali si deve sostituire invece di g il valore che appartiene alla gravità. Ognuno ricorderassi che g denota le velocità che la forza acceleratrice dà al corpo durante l' unità di tempo , e ricorderassi egualmente che questa velocità è doppia dello spazio che la forza fa percorrere durante la stessa unità ; onde g è uno spazio ovvero una lunghezza. Noi faremo conoscere appresso un esattissimo mezzo per trovarne la misura , e vedremo che prendendo il minuto secondo per unità di tempo , il valore di g è a Parigi.

$$g = 9^m, 8088$$

Con questo dato puossi ciascuno esercitare a risolvere molti problemi intorno al moto dei gravi (1).

(1) Il valore di g suolsi esprimere anche in piedi inglesi 32,5, parigini 30,183 , e l' altezza della macchina di Atwood è comunemente divisa in pollici inglesi. Dalle formole del moto uniformemente accelerato si hanno i tempi come le radici degli spazi , e gli spazi come i quadrati dei tempi. Quindi se lo spazio del primo minuto secondo si consideri come uno, esso sarà 4, 9, 16, 25 dopo il secondo, il terzo, il quarto, il quinto minuto secondo: onde sapendo il valore di g , e sapendo il tempo si potrà conoscere lo spazio percorso in un dato tempo dal principio della caduta. Volendosi poi sapere gli spazi parziali percorsi in ciascuno istante s'intenderà facilmente che converrà dallo spazio totale di ogni istante levarne quello che appartiene agli istanti antecedenti , e però si conoscerà esser gli spazi parziali come la serie dei numeri catti 1 , 3 , 5 ; 9 ecc. Volendo poi sapere il tempo , conoscendo lo spazio, converrà prima ridurre questo ad unità di gravità , dividendolo per $\frac{1}{2}g$; e poi estrarre dal quoziente la radice quadrata. E ciò s' intende senza tener conto della resistenza dell' aria.

CAPO III.

Del centro di gravità — Dell'equilibrio dei solidi — Della bilancia — Del peso, della massa, e della densità dei corpi.

41. Un corpo grave grande o piccolo può esser considerato come un'unione di un infinito numero di punti materiali ciascuno dei quali è spinto dalla gravità.

A tutte queste forze, sebbene infinite di numero, puossi una sola forza sostituire, in un certo punto applicata; e questa forza altro non è che la somma, o la risultante di tutte le azioni della gravità, le quali diconsi il *peso* di un corpo, ed il punto ove essa è applicata dicesi il *centro di gravità* del medesimo.

Questa definizione basta per non confondere la gravità col peso, imperciocchè la gravità è la forza elementare che spinge generalmente ogni particella di materia, ed il peso di un corpo è la somma di tutte le azioni che la gravità particolarmente manifesta sopra di un corpo. Importantissima cosa è il sapere determinare il peso ed il centro di gravità dei corpi, perciocchè allora potrassi sostituire il peso il quale è una forza sola a tutte le forze elementari operanti su di un corpo, ed il centro di gravità che è un punto solo, all'unione dei punti che il corpo medesimo costituiscono, e quindi una massa pesante sia qualsivoglia la sua grandezza, e la sua forma potrà essere considerata come un sol punto che da una sola forza è spinto.

Nella macchina di Atwood poi come nel piano inclinato del Galilei, puossi la forza acceleratrice ridurre ad un frazione di g a piacimento di chi vorrà far la esperienza, siccome apparisce dalla formole esposte dall'Autore: quindi è che aggiungendo una massa n tale che riduca la forza acceleratrice ad $\frac{1}{4}g$, si vedrà che lo spazio che dovrà percorrere la massa $m + n$ nel primo minuto secondo dovrà essere di tre pollici che sono $\frac{1}{4}$ di sedici piedi; onde sperimentando sulla macchina si potranno vedere eseguite le leggi di sopra esposte.

42. *Del centro di gravità.* In un corpo grave, il quale non abbia un'estensione di alcune centinaia di tese, le azioni della gravità su ciascuna molecola di esso possono come, parallele considerare, perciocchè esse concorrono verso il centro della terra e son tutte eguali, cadendo tutte, nel vòto, con pari velocità, onde il *centro di gravità* non è altro se non che un *centro di forze parallele ed eguali*. Da ciò segue un carattere distintivo del centro di gravità, di essere, cioè, fisso nell'interno del corpo solido, e non cambiar sito sia qualunque la posizione che diasi a questo corpo rispetto alla gravità.

Per esempio, il punto g (fig. 35) essendo il centro di gravità del triangolo abc , allorchè il punto c è in alto, esso sarà anche il luogo del centro di gravità, quando il punto c è in basso, o in qualunque altra posizione che potrebbesi dare ad esso, perocchè il punto di applicazione della risultante delle forze parallele è indipendente della direzione delle forze (§ 31).

Acciò un corpo sia in equilibrio è mestieri ad una sola condizione soddisfare, cioè che il centro di gravità sia sostenuto. E però se il centro di gravità è un punto fisso potrassi il corpo per tutti i versi girare, e starà sempre in quiete, perchè sempre in equilibrio. Se ne può far l'esperienza con un disco omogeneo girevole intorno di un asse orizzontale che passi per lo centro. Allorchè un corpo è sostenuto per un punto diverso dal centro di gravità, l'equilibrio è ancora possibile, ma solo in due posizioni, cioè quando il centro di gravità è nella verticale del punto fisso, o al disopra, o al di sotto, di questo punto. Se ne può fare l'esperienza con un disco omogeneo girevole intorno di un asse orizzontale che non passi per lo centro.

Da ciò segue un mezzo sperimentale per rinvenire il centro di gravità di un corpo. Ligasi il corpo con un filo in un punto qualunque c della sua superficie (fig. 36) e poi suspendasi, e quando è in quiete si segni colla maggior possibile precisione il punto m dove il produciamento del filo verrebbe a penetrar la inferiore

superficie ; il centro di gravità convien che si trovi necessariamente sulla linea *cm*. Poscia si ricominci la esperienza ligando il corpo per un altro punto *a* e seguendo parimenti il corrispondente punto *m'*; il centro di gravità dovrà anche ritrovarsi nella linea *am'*. Dunque esso sarà nel punto ove segansi le linee *cm* ed *am'*. Nei corpi molto pesanti potrebbe farsi la esperienza in verso contrario , girandoli su i loro tagli , o poggiandoli sopra sostegni di piccola estensione. Ma pei corpi omogenei aventi figure regolari , il centro di gravità si rinviene mercè alcune considerazioni geometriche molto semplici:

Linea retta. — Il centro di gravità è evidentemente alla metà della sua lunghezza.

Cilindro a basi parallele. — Il centro di gravità è nella metà dell'asse (fig : 42 , 43 , e 44).

Parallelogrammo. — Il centro di gravità sta nell' intersezione delle diagonali , perciocchè ogni diagonale divide la figura in due parti eguali. Potrebbe dirsi lo stesso per un parallelogrammo cavo come un quadro.

Cerchio. — Il centro di gravità è nel centro del cerchio ; questo punto è egualmente il centro di gravità della circonferenza , e quello dell'anello compreso tra due circonferenze concentriche (fig : 45).

Triangolo. — Si tirino le linee *de* , *fg* ec. parallele alla base (fig. 37) , indi la linea retta *am* che divide in due parti eguali questa base e tutte le parallele alla stessa ; si compiano i parallelogrammi *dbce* , *hkli* ecc. con linee parallele ad *am*. La linea *am* passa per lo centro di gravità di tutt' i parallelogrammi esterni ed anche per lo centro di gravità di tutt' i parallelogrammi interni al triangolo ; e vi passa sia qualunque la grandezza di questi parallelogrammi. Or siccome gli uni di essi sono circoscritti al triangolo e gli altri iscritti nel medesimo , e siccome al loro limite di picciolezza vanno a confondersi con esso , conviene egualmente che il centro di gravità trovisi su di *am* ; per la stessa ragione esso dovrà stare su di *bm'* (fig : 38) , dunque esso starà in *g* che è il punto d' intersezione di queste ; e

dai triangoli simili abg ed mgm' segue che mg sia la metà di ag , o che il punto g sia ai due terzi di am partendo dal punto a .

Poligoni. — Questi si decompongano in triangoli (fig: 39), dei quali si trovino i centri di gravità, quindi si considerino le forze applicate ai centri di gravità dei triangoli come proporzionali alle superficie dei medesimi, • cercandone la risultante, colle solite regole, il suo punto di applicazione sarà il centro di gravità.

Piramide triangolare. — Si tiri una linea dal vertice s (fig: 40) al punto g centro di gravità della base abc , e dimostrerassi facilmente, facendo de' segmenti inscritti e circoscritti, come si è fatto pei triangoli, che il centro di gravità debba ritrovarsi sulla linea sg ; che esso sia egualmente sopra sg' , e quindi che debba essere in g'' punto d'intersezione di queste linee. E dal paragone dei triangoli simili potrà conchiudersi, esser questo punto g'' ai tre quarti di sg computandoli dal vertice. Una piramide qualunque può decomporrsi in piramidi triangolari, e quindi può giungersi a conchiudere che in ogni caso il centro di gravità d'una piramide sia sulla linea che unisce il vertice col centro di gravità della base, ai tre quarti al di sotto del vertice.

Poliedro. — Si risolve in piramidi, siccome il poligono in triangoli.

Cono. — Questo trattasi come una piramide (fig: 41).

Sfera. — Il centro di gravità è nel centro della sfera; dicasi lo stesso per una superficie sferica e per un segmento compreso da due sfere concentriche (1).

43. *Dell' Equilibrio* — Abbiain già veduto che la sola condizione per l'equilibrio d'un grave è, che

(1) La dottrina de' centri di gravità per essere esposta convenientemente, sarebbe mestieri conoscere il calcolo subline; per cui mi astengo di aggiungere alcuna cosa su questa materia, potendo il maestro regolarsi secondo la capacità degli allievi.

il suo centro di gravità sia sostenuto ; ma questa condizione può essere in diverse maniere soddisfatta , secondo che il corpo è sospeso ad un punto fisso , o poggiato su qualche sostegno.

1.° Supponiamo per esempio un disco omogeneo (fig : 46) forato da tre buchi eguali a , b , c , il centro di gravità del quale sia nel centro della figura: questo disco sarà in equilibrio in qualunque posizione intorno di un asse che passi per lo buco centrale a , e questo dicesi equilibrio *indifferente*; se poi l'asse passi per lo forame superiore b , l'equilibrio sarà *stabile*, perciocchè il corpo tende a ritornare in questa posizione se alcuno lo rimuova ; scorgesi in fatti che facendo girare un poco il disco intorno di quest' asse , il centro di gravità scosterassi a destra o a sinistra sull' arco mn . Esso non è più sostenuto perciocchè non è più nel piano verticale dell'asse di sospensione e discende per ritornarvi dopo una serie di oscillazioni. Se l'asse poi passi per lo buco inferiore c il disco potrà anche matematicamente essere in equilibrio , e ciò avrà luogo se il centro di gravità troverassi precisamente nel piano verticale dell' asse , ma questo equilibrio è *instabile*, in fatti tostocchè il centro di gravità esce fuori di questo piano , devierà sempre più descrivendo una mezza circonferenza per andarsi a fermare al di sotto dell'asse di sospensione.

Generalizzando questi risultamenti si vede, che un corpo qualunque sospeso per mezzo di un asse , può trovarsi in equilibrio *stabile*, *instabile* o *indifferente*, secondo che il suo centro di gravità sia al di sotto dell' asse , al di sopra , o nell' asse medesimo.

2.° Esaminiamo ciò che deve accadere ad un disco semplicemente poggiato su di un piano orizzontale o inclinato , e supponiamo che questo disco composto, per esempio, di piombo e di legno abbia il suo centro di gravità sulla circonferenza adb (fig : 47) molto lontano dal centro della figura. Segue da ciò che si è detto esser due sole le posizioni dell' equilibrio ; l' una *stabile* allorchè il centro di gravità sia in a , *instabile*

l'altra se osso sia in *b*. Se questo stesso disco si poggia su di un piano inclinato (fig: 48), vi sarà anche equilibrio allorchè il centro di gravità troverassi nel piano verticale *pb* menato per l'incontro *p* del contatto, la *stabilità* corrispondendo sempre al punto più basso *a*, e la *instabilità* al punto più elevato *b*.

In quest'ultimo caso, se il disco verrà spinto un poco innanzi, esso girerà risalendo sul piano per una lunghezza eguale all'arco *pgv*, e sarà nella sua posizione di *stabilità*.

Allorchè i corpi poggiano sul suolo con una base più o men larga, è necessario per l'equilibrio che la verticale del centro di gravità cada nel perimetro di questa base; quindi apparisce che il cilindro obliquo (fig: 49) sarà in equilibrio se abbia una lunghezza *ab*, e che cadrà se venga ad esso sovrapposto un altro egual cilindro il quale trasporti il centro di gravità in un punto, il quale sia al di fuori delle verticali del perimetro della base (1)

(1) Un corpo dunque collocato sulla sua base in un piano orizzontale non potrà mai rovesciarsi finchè la linea di direzione cadrà entro la base. Ma se questa cadrà fuori la base, il centro di gravità non essendo in alcun modo impedito dovrà discendere ed il corpo convien che si rovesci. Onde se un corpo sia inclinato potrà rimaner fermo purchè la linea di direzione non esca fuori la base. Quindi la torre Garisenda di Bologna, e quella del duomo di Pisa, non cadono quantunque inclinate. Da ciò segue, la stabilità de' corpi, poste le altre cose eguali, esser maggiore se abbiano una base più ampia: d'onde le, così dette, mura a scarpa, i barbacani, i puntelli, ecc.: mercè i quali non solo la linea di direzione si fa cadere dentro la base ma si accresce anche il momento della resistenza, come tra poco si dirà. Segue anche da ciò, che gli uomini avendo il loro centro di gravità ordinariamente un poco sotto all'ombelico, la linea di direzione passando pel pube e cadendo fra i piedi quando sono ritti, dall'esperienza ammaestrati, si muovono in guisa da non far uscire la linea di direzione fuori delle piante, quindi se alcuno è seduto per alzarsi si piega prima un poco dalla parte davanti; se va per la salita si curva innanzi, si piega indietro se scende: il vecchio curvo si appoggia al bastone ecc. Anche gli animali fanno uso delle medesime pratiche, onde non solo l'uomo ma anche la scimmia impara a dansare sulla corda. Molti giuochi che diconsi di equilibrio dipendono dall'applicazione di questi principi.

44. Le condizioni di equilibrio che generalmente vengono assegnate, e che finora abbiamo esposte, sono

Per rovesciare un corpo nel quale la direzione della gravità cade dentro la base, è mestieri che siavi l'azione di una potenza che ne la spinga fuori: al che opponendosi la gravità o il peso del corpo che tende a ritenerlo nella sua posizione, uopo è che la forza per rovesciarlo superi la resistenza nascente dal peso. Suppongo, che il corpo non possa nè progredire, nè rotare orizzontalmente, essendo questi moti per lo più distrutti dall'attrito, particolarmente se si parli di fabbriche, ma solo rovesciarsi. Ora siccome un corpo rovesciandosi deve rotare intorno ad un centro, o ad un asse preso nel perimetro della sua base, così lo sforzo della potenza per rovesciarlo sarà il momento di essa, al detto centro o asse riferito, e la resistenza che ad essa si oppone sarà il momento del peso riferito allo stesso centro o asse. Acciò dunque la gravità possa tener fisso un corpo nella sua situazione è necessario che il momento del peso di questo corpo sia contrario ed eguale, o maggiore del momento della potenza che tende a rovesciarlo. Se il momento del peso egugli quello della forza, si avranno le semplici condizioni di equilibrio, ma se l'uno superi l'altro, allora si sarà anche alla stabilità provveduto. Nelle fabbriche è assolutamente necessario di non contentarsi delle condizioni di equilibrio, ma di adempiere a quelle della stabilità, quindi non si farà un muro che possa offrire ad un terrapieno una resistenza eguale alla spinta, ma sempre maggiore, dicasi lo stesso delle volte per rispetto a' piedi dritti (V. Venturoli Mec.; Cavaleri Arch. Stat. ed Idr.; Rondelet l'Art. de Batir). Quando poi si prende in considerazione il solo momento del peso del corpo, per conoscere la forza che sarebbe necessaria per rovesciarlo, questo suolsi anche chiamare stabilità del corpo, la quale potrassi sempre conoscere, se sia data la posizione del centro di gravità, e del centro o dell'asse intorno al quale il corpo deve rotare per rovesciarsi; perciocchè moltiplicando il peso per la distanza della direzione della gravità dal centro o asse di rotazione, si ha la stabilità del corpo, e moltiplicando la potenza che tende a rovesciarlo per la sua distanza dal medesimo centro o asse, se ne ha il momento, badando però alla direzione della potenza la quale, supposto il corpo perpendicolare sulla sua base, non sempre opera in direzione parallela alla medesima. Se sia tale, facilissima cosa sarà il conoscerne il momento, se poi sia obliqua converrà ricorrere alle solite risoluzioni per valutare i suoi effetti. Ed allora si vedrà esservi de' casi ne quali la forza operando obliquamente può produrre un aumento di resistenza o di stabilità nel corpo. Quindi rilevasi, che in un corpo l'ampiezza della base aumenta il momento della stabilità. Molte altre utili conseguenze potrebbero dedursi dalle verità esposte, ma potranno gli studiosi vederle nelle citate opere, e parecchie anche da se stessi ricavare.

solo sufficienti per le speculazioni teoriche, supponendosi la materia dotata di una proprietà della quale veramente è priva; si suppone cioè che ogni corpo sia perfettamente rigido, ossia non elastico, non compressibile, e che le molecole siano immobili l'una rispetto all'altra. Supponiamo in fatti un tubo di vetro lungo e sottile poggiato con la sua parte di mezzo sopra un qualunque sostegno (fig. 50): il suo centro di gravità sarà sostenuto, e frattanto non si avvererà l'equilibrio, perciocchè piegherà per cagione di sua elasticità: e tanto maggiormente si piegherà, se a' suoi estremi si sospendan de' pesi sempre maggiori: avviene lo stesso ad una trave poggiata con gli estremi su due sostegni (fig. 51): essa si piegherà più o meno secondo il suo peso, la sua elasticità, la sua tenacità, e la pressione che soffre (1). Quello che dicesi de' corpi inorganici, con più salda ragione si può de' corpi organici affermare, i quali son meno tenaci, e di maggior elasticità dotati. Una pianta è sostenuta, perciocchè la verticale del suo centro di gravità cade nello spazio occupato dalle sue radici: ma ciò non impedisce a' rami di piegarsi per lo proprio peso, e che anche gli steli possansi per la stessa causa piegare e rompere. Un elefante è sostenuto, dappoichè la linea di direzione del suo centro di gravità cade fra i quattro piedi che ne sostengono la massa; — ma uopo è che le vertebre, e le coste siano fortemente unite per poterne reggere il peso, e che i muscoli e la pelle abbian forza da reggere alla pressione che soffrono.

S' intende del pari, che i cambiamenti di forma che produconsi o dalla elasticità, o dalla compressibilità, o da' moti volontari pe' quali gli organi e le membra cangian di luogo, sono altrettante cagioni che fanno variare la posizione del centro di gravità. Allorchè un uomo alza le braccia, il centro di gravità

(1) Chi bramasse avere delle notizie esatte su di ciò potrà riscontrarle nel *Rondelet*.

cambia luogo ; allorchè un uccello stende il collo il centro di gravità è sensibilmente trasportato innanzi. Si può vedere nella fig. 51 , le quattro posizioni del centro di gravità di un uccello corrispondenti alle quattro principali situazioni del cammino, del riposo , del nuoto , e del volo.

45. *Della bilancia* — La bilancia comune è composta da un asta ab (fig. 61) , sostenuta nel mezzo m , e le cui braccia am , e mb son destinate a tener sospese le coppe cd mobilissime ne' loro punti di sospensione. Dopo di avere equilibrate queste coppe , si pone in una di esse il corpo che si vuol pesare , e nell' altra de' pesi segnati, fino a che non si abbia l'equilibrio , cioè fino a che l' asta non si riduca in posizione perfettamente orizzontale. Allora se la bilancia è esatta, il peso del corpo è dinotato dal numero dei grammi e frazioni di grammo , che sonosi dovuti mettere nella coppa : ma se la bilancia non è esatta , se le sue braccia non sono perfettamente eguali , egli è chiaro che il peso del corpo non è indicato da' grammi posti nell' altra coppa co' quali si è equilibrato , perciocchè i pesi sono in ragion reciproca delle corrispondenti braccia di leva , le quali ora sono le braccia della bilancia , e però i pesi sono eguali solo quando eguali sono coteste braccia (1).

Siccome il fare una bilancia le cui braccia sian perfettamente eguali è quasi impossibile , così sonosi inventate varie maniere di rimediare a questo inconveniente. La più facile è quella del *pesar doppio*, ovvero del *pesare per sostituzione*. Vale a dire si equilibra il corpo col piombo, con l' arena, o altre cose similgianti , poi fatto l' equilibrio , si toglie il corpo, ed in sua vece si pongono i grammi e le frazioni di grammo, per quanto basti a ristabilire l' equilibrio. I pesi numerati prendendo il luogo del corpo che si vo-

(1) Si può fare alla bilancia una facilissima applicazione della dottrina de' momenti altrove esposta.

lea pesare, la disuguaglianza delle braccia non può più avere alcuna influenza.

La bilancia comune della quale abbiám parlato può servire allorchè vogliamo esser paghi di una approssimazione di circa un decigrammo.

Volendo pesare con maggiore precisione, conviene adoperare una bilancia più perfetta nella quale allorchè si è posto un chilogrammo per ogni coppa preponderi facilmente quella ove un milligrammo si sia aggiunto. Ecco le principali condizioni mercè le quali si può ciò conseguire.

1.° L'asta f (fig. 54, 59, e 60) è penetrata da un coltello di acciaio a (fig. 54), il cui taglio acuto ma non sottile sia poggiato su i piani b , d'acciaio o d'agata, in questa maniera i punti di toccamento dell'asta e de' sostegni non variano, e l'attrito scemasi grandemente.

2.° Le due coppe c (fig. 55, e 60) si suspendono all'asta per mezzo dell'uncinetto d e dell'artiglió g il quale si appoggia sul taglio del coltello h . Tutti questi punti di toccamento sono a tagli spuntati ed in acciaio; quindi avviene che il centro di gravità di ciascuna coppa e del peso che essa contiene si dispone facilmente nella verticale del taglio del coltello h , e che la distanza di questo taglio dal taglio di sospensione resti invariabile durante il tempo delle oscillazioni della bilancia.

3. Il centro di gravità dell'asta può innalzarsi o abbassarsi mercè la madre vite l (fig. 53, 59 e 60) la quale muovesi lungo la vite p . Il peso di questa madre vite e la lunghezza della vite sono disposti in guisa, che dando alla madre vite successivamente le posizioni i , k , l , il centro di gravità dell'asta si trovi successivamente ne' tre punti m , n , o . Nel primo caso l'equilibrio è instabile e la bilancia è *pazza*; nel secondo caso è indifferente, nel terzo caso finalmente l'equilibrio è stabile, e l'asta esegue un certo numero di oscillazioni più o meno rapide,

secondo che il centro di gravità trovasi più o meno al disotto del taglio del coltello. Scorgesi in pari tempo, che se l'equilibrio non è perfettamente costituito, se manca, per esempio, un milligrammo in una delle coppe, l'asta penderà dalla parte del peso maggiore, e che per la stessa differenza di un milligrammo penderà tanto più, quanto meno basso ritrovisi il centro di gravità rispettivamente al taglio del coltello. Mercè dunque la madre vite l , si può a piacimento accrescere o scemare la sensibilità della bilancia. Per valutare in una maniera più precisa, tanto l'inclinazione dell'asta, quanto l'ampiezza delle oscillazioni si adatta alla bilancia un lungo indice r (fig. 54 e 60) il quale muovesi sopra di una divisione circolare s , il cui centro sta sul taglio del coltello a .

4. Per mantenere il pulimento del coltello di sospensione a e dei piani su i quali esso si appoggia, si aggiusta alla bilancia un sistema di forchette t (fig. 56 e 60), le quali possono afferrare l'asta dalla parte inferiore e tenerla sollevata mentre si mutano i pesi alle coppe; poscia facendo scender le forchette lentamente, il coltello ritornerà su i piani, e l'asta potrà fare delle oscillazioni più o meno grandi, secondo che le forchette siano più o meno abbassate. La figura 56 rappresenta la maniera di regolare l'altezza delle forchette affinchè esse prendano e lascino l'asta nello stesso tempo. La figura 53 dinota la colonna mobile u , la parte superiore della quale è ornata di due braccia v ordinate a tener le forchette, mentre la parte inferiore termina in una piastretta poggiata sul piano inclinato x (fig. 53, 57 e 58); questo piano inclinato muovesi intorno del centro y per mezzo del manubrio z : quando spingesi il manubrio dalla parte dinanzi, il piano inclinato innalza la piastretta, la colonna u , le braccia v , le forchette t ed in conseguenza l'asta f : al contrario tirando indietro il manubrio il piano inclinato lo segue, e la molla ad elica che circonda la colonna u unisce il suo effetto a quello

del peso dell' asta per obbligar la colonna a discendere con le sue forchette, e per ricondurre il coltello dell' asta su i suoi sostegni.

Le bilance così fabbricate hanno una esattezza ed una sensibilità, che non lascian cosa a desiderare.

46. *Del peso, della massa e della densità.* Il grammo il quale è l' unità di peso adottata in Francia, è il peso d' un centimetro cubico d' acqua distillata presa al suo maggior grado di condensazione. Se la lunghezza di un centimetro si perdesse potrebbe nuovamente esser determinato, sapendosi essere la centesima parte del metro; e se il metro stesso si perdesse, si potrebbe anche ritrovarlo, perciocchè esso è la diecimillesimesima parte dell' arco meridiano di Parigi, compreso tra il polo e l' equatore, e però basterebbe ricominciare la misura della terra. Finalmente se la stessa terra soffrisse un cambiamento di forma o di grandezza, allora il metro sarebbe cambiato nè si potrebbe più sapere la lunghezza del medesimo; ma in questo caso sarebbe tutto cambiato per noi; i giorni e le notti non avrebbero gli stessi periodi, nè le stagioni la stessa successione e la stessa durata; l' unità di peso non sarebbe più quella, e varierebbe anche se l' acqua potesse essere alterata. Onde tutto è condizionale nei nostri principi i più fondamentali, e la scienza ha fatto quanto potea quando ha fondate le sue basi su la stabilità del mondo.

Suolsi generalmente dire, la *massa* d' un corpo esser la quantità di materia dalla quale esso è composto; ma questa definizione sarebbe interamente illusoria se non avremmo qualche mezzo da paragonare le quantità di materia e determinarne le ragioni.

Invano si potrebbe da qualche segno esterno giudicare della quantità di materia contenuta in un dato spazio; nè mai si potrebbe ciò conseguire se non vi fosse in natura qualche particolar forza la quale avesse le seguenti proprietà: 1.° che spingesse ugualmente tutti gli atomi de' corpi, e 2.° tale che si potesse conoscerne la risultan-

te. Or la gravità è una forza di tal natura; essa opera egualmente su tutti i corpi, perocchè tutti nel cadere procedono con eguali velocità, e si può conoscere la risultante di questa forza sopra un dato corpo perciocchè il peso di questo l'indica. Onde dopo questa verità sperimentale puossi conchiudere, *essere la massa o la quantità di materia proporzionale al peso*. E qui conviene osservare, esservi due maniere di valutare il peso dei corpi. Si può conoscerlo mercè la bilancia, siccome abbiamo poco fa indicato, ed allora il peso è indipendente dalla intensità della gravità. Per esempio se una bilancia a Parigi è in equilibrio, avendo una certa quantità di ferro in una delle sue coppe e nell'altra de' pesi di rame equivalenti ad un chilogrammo, essa sarebbe tuttavia in equilibrio su la cima delle Alpi con tutto che ivi la gravità fosse minore. E ciò avviene perchè il ferro, il rame, ed ogni altro corpo aumentano o perdono di peso nella ragion medesima, se la gravità si accresca o si scemi; e però la stessa bilancia se anche venisse portata verso i confini dell'atmosfera, o alla superficie della luna, o anche su la superficie del sole, continuerebbe a stare in equilibrio. Al contrario se si volesse conoscere il peso mercè una molla graduata che si piegasse sino ad un certo segno, il volume di ferro che a Parigi era un chilogrammo farebbe piegare su la cima delle Alpi alquanto meno la molla, e la farebbe piegar 26 o 27 volte di più su la superficie del sole; il suo peso dunque stimato in tal maniera varierebbe al variar della gravità, rimanendo invariata la massa. Il peso dinotato dalla bilancia può dirsi relativo, assoluto quello indicato dalla molla, e però si può dir con verità *esser la massa di un corpo proporzionale al suo peso relativo*, ovvero al suo peso assoluto diviso per l'intensità della gravità.

Potrebbe darsi che nella natura vi fossero delle sostanze *imponderabili* sulle quali la gravità non avesse alcuna maniera d'azione, queste sostanze senza gravità

sarebbero anche senza peso, ma senza massa non mai. Sarebbe per altro impossibile ogni paragone tra queste e le masse de' corpi gravi, sino a che non sarchbesi scoperta qualche forza istantanea o continua che operar potesse su le due diverse specie di sostanze. Una materia imponderabile la quale fosse unita alla materia grave per formare un corpo, diverrebbe una causa atta a ritardare il moto dovuto alla gravità; essa opererebbe come le masse m le quali si equilibrano nella macchina di Atwood, perciocchè essa riceverebbe una porzione del moto dalla gravità impresso. Dal che non si osserva alcun ritardo di questa natura non si può punto inferire, non esservi ne' corpi sostanze imponderabili, ma solo che nel caso che vi siano debbano essere di massa tenuissima per rispetto alla massa ponderabile, o che non vi siano unite in una maniera permanente, ma che i corpi gravi le lascino quando passano da un luogo in un' altro.

La densità d'un corpo è uguale alla ragione che passa tra il peso ed il volume dello stesso (*); questa ragione uopo è che si prenda in considerazione, perciocchè essa è una proprietà permanente d'ogni corpo, e spesso ne diventa una proprietà caratteristica. Un centimetro cubico di acqua distillata, a Parigi pesa un grammo, questa è la nostra definizione, e lo stesso volume d'acqua ha lo stesso peso in tutti i luoghi della terra. Un centimetro cubico di ferro pesa $7^{\frac{8}{10}}$, o che sia ricavato dalle miniere della Svezia, della Francia o dell' America, ed in qualunque modo sia stato purificato; in simil guisa un centimetro cubico d'oro pesa $19^{\frac{258}{1000}}$, o che sia ricavato dalle miniere del Perù o da quelle del Giappone. Il peso dunque sotto un dato volume ovvero la densità è una proprietà invariabile per ciascun corpo, purchè però

(*) La densità è detta anche *gravità specifica*: ma acciò questa espressione sia giusta uopo è intendere, che *gravità specifica*, o *gravità sotto un dato volume*, significa *peso sotto un dato volume*. N. dell' Autore.

si prendano i volumi alla stessa temperatura, avendo veduto che il calorico dilata tutti i corpi. Impareremo più appresso a determinare le densità; per ora le supponiamo conosciute, ed impareremo solo a servircene. Dalla definizione che ne abbiamo data segue:

1.° Che ad eguali volumi le densità sono proporzionali a' pesi de' corpi;

2.° Che a pesi eguali le densità sono in ragione reciproca de' volumi;

3.° Che in generale sono come le ragioni dirette de' pesi moltiplicate per le reciproche de' volumi;

4.° Che il peso relativo in un corpo è uguale al suo volume moltiplicato per la sua densità;

5.° Che il volume d' un corpo è uguale al suo peso relativo diviso per la sua densità;

È mestieri aver bene intese queste formole, averne fatte parecchie applicazioni per poterle aver presenti distintamente (1).

SUPPLIMENTO 3°.

I.

Della discesa dei gravi per piani inclinati. Nelle note all' antecedente capo si è veduto essere, la gravità assoluta alla relativa come la lunghezza all' altezza del piano, o come il raggio al seno dell' angolo di elevazione. Ora dalla risoluzione che si è fatta della gravità assoluta nelle due DE, DS (tav. agg. fig. 13). Si vede, che DE esprime la gravità relativa, e DG la pressione del corpo sul piano. E paragonando i triangoli simili ABE, DOS, si vedrà essere $DO : DG = AB : BC$, cioè la gravità assoluta alla pressione come la lunghezza

(1) La somma di tutte le azioni della gravità sulle molecole di una massa M , si dice *peso*, il quale se si esprima con P , e dicasi G la gravità: si avrà $P = GM = GDV$. La gravità specifica g di un corpo essendo la ragion del peso al volume, si potrà esprimere così $g =$

$\frac{P}{V} = \frac{GM}{V} = GD$. Da queste formole e dalle altre esposte nella nota al § 11, si hanno facilmente le verità dall' A. enunciate.

alla base del piano inclinato, o come il raggio al coseno dell'angolo di elevazione. Apparirà anche essere $OS : SD = AC : CB$, cioè la gravità relativa alla pressione come l'altezza del piano inclinato, alla base del medesimo, o come il seno al coseno dell'angolo di elevazione.

* Si chiami dunque g la gravità assoluta, g' la relativa, p la pressione, a l'altezza del piano, l la lunghezza, e b la base, e si avrà $g : g' = l : a$, ovvero $g' = \frac{ag}{l} = g \text{ sen. } B$. Similmente $g : p = l : b$, e $p = \frac{gb}{l} = g \text{ cos. } B$. Or le formole del moto uniformemente accelerato recate dall'Autore, e da me dimostrate nelle note sono,

$$v = gf,$$

$$s = \frac{gt^2}{2};$$

dalle quali, *eliminando* t , si ha anche

$$v = \sqrt{2gs} :$$

onde se in queste formole si ponga $\frac{ag}{l}$ in luogo di g , o anche $g \text{ sen. } B$, ed l invece di s si avranno le formole del moto per piani inclinati; quindi si avrà $l = \frac{1}{2} s = \frac{1}{2} gt^2 \text{ sen } B$, e $v = \sqrt{\frac{2agl}{l}} = \sqrt{2ag}$.

Dalle verità esposte ricavasi una importante conseguenza la quale è, che quantunque un corpo-cadendo per un piano inclinato vada con velocità minore di quella con la quale sarebbe andato per la libera verticale, pure alla fine della discesa per questo piano trovasi dotato di tanta velocità per quanta ne avrebbe avuta nel finire di scendere per la libera verticale; ed infatti chiamando V la velocità di un corpo che cadesse per la libera verticale AC , e V' quella che acquisterebbe percorrendo tutto il piano AB , sarà per le cose dette $V = \sqrt{2gs}$, e $V' = \sqrt{2ag}$, onde si avrà

$V : V' = \sqrt{2gs} : \sqrt{2ag} = \sqrt{a} : \sqrt{s}$, ma nel caso nostro $a = s$; dunque sarà $V = V'$.

Quindi se nel cerchio AEB (tav. agg. fig. 14) dagli estremi A, B del diametro tirinsi a' punti E, L le corde AE, EB, ed AL, LB, e dagli angoli retti E, L si tirino al diametro le perpendicolari EO, LP, è chiaro che le velocità acquistate da un grave per EB, LB saranno eguali a quelle v, v' acquistate per OB, PB. Ora la velocità V acquistata per AB sta alla velocità v acquistata per OB $= \sqrt{AB} : \sqrt{OB} = AB : BE$ (perciocchè pe' triangoli simili ABE, OBE si ha $AB : EB = EB : OB$ ovvero $\sqrt{AB} : \sqrt{EB} = \sqrt{EB} : \sqrt{OB}$, ed in ogni proporzione continua di tre grandezze sta la prima alla terza come il quadrato della prima a quello della seconda). Così pure la velocità V sta alla velocità v' acquistata per PB $= \sqrt{AB} : \sqrt{PB} = AB : LB$. Abbiamo dunque $V : v = AB : EB$, e $V : v' = AB : LB$, ovvero permutando

$$V : AB = v : EB, \text{ e}$$

$$V : AB = v' : LB;$$

dunque sarà $v : v' = EB : LB$. Ma le velocità v, v' sono eguali a quelle che si acquistano per le corde EB, LB: dunque le velocità acquistate per le corde di un cerchio sono come le corde medesime.

Di più, la velocità V che in un dato tempo acquista un grave cadendo per un piano inclinato AB (tav. agg. fig. 13) sta a quella V' che in egual tempo acquisterebbe cadendo per la verticale AC, come l'altezza alla lunghezza del piano inclinato. Infatti la forza g' con la quale il corpo scende per AB, cioè la gravità relativa, sta a quella con cui scenderebbe per AC, cioè all' assoluta g , come AC ad AB. Ma se i tempi siano eguali si ha $g' : g = V : V'$: dunque sarà $V : V' = AC : AB$.

Sarà chiaro egualmente dovere stare lo spazio S descritto per lo piano inclinato allo spazio S' descritto per la libera verticale nello stesso tempo, come l'altezza del piano alla lunghezza del medesimo, poichè si ha $S : S' = g' : g = AC : AB$.

Dalle cose dette segue: che se menata la tangente BD (tav. agg. fig. 14) si tiri dal punto B una perpendicolare BE sul piano inclinato AD, la retta AE indicherà lo spazio percorso sul detto piano nel tempo in cui si percorre l'altezza verticale AB, imperciocchè in questo caso, pei triangoli simili ABD, ABE rettangoli in B ed in E, si ha $AE : AB = AB : AD$.

Quindi apparisce che un grave describe in egual tempo il diametro verticale AB di un cerchio AEB, e le corde AE, AL; perciocchè le linee BE, BL sono perpendicolari a' piani inclinati AD, AK. E se si tiri la retta indefinita AX perpendicolare ad AB, e si prolunghi BE in S, e per lo punto S si tiri la SZ parallela e quindi eguale ad AC; e da Z si tiri la perpendicolare ZQ; sarà $EB = SQ$ per l'eguaglianza de' triangoli QSZ, EAB, e questa dovrà esser descritta nello stesso tempo in cui è descritta SZ, ovvero AB. Ora avendo AB la medesima inclinazione all'orizzonte che SQ, sarà anche essa descritta nel tempo in cui è descritto il diametro AB: e però può conchiudersi essere generalmente vero, che il tempo necessario ad un grave per descrivere il diametro verticale di un cerchio è eguale a quello che si richiede per descriverne qualunque corda; sia che queste corde partano dall'una o dall'altra estremità del diametro. Da questa verità ne segue immediatamente un'altra, ed è che se il cerchio Adkb che ha per diametro Ab tocchi in A il cerchio ACB, sarà descritta la porzione bB del diametro verticale, nello stesso tempo in cui sarebbero descritte le porzioni dE, kL delle corde AE, AL.

Il tempo poi della caduta per lo piano inclinato sta al tempo della caduta verticale, come la lunghezza all'altezza del piano. E per fermo si dicano T, t i tempi della discesa obliqua e della verticale, e si avrà $T : t = \sqrt{S} : \sqrt{s} = \sqrt{AD} : \sqrt{AE}$; ma $\sqrt{AD} : \sqrt{AE} = \sqrt{AD^2} : \sqrt{AB^2}$: essendo $AD : AB = AB : AE$; dunque sarà $T : t = AD : AB$.

II.

Del moto per le curve. Supponiamo che un mobile percorra la serie de' piani inclinati contigui AB, BC, CE (tav. agg. fig. 15). Se gli angoli B, C sian molto sensibili, il mobile giunto in D non avrà la velocità che avrebbe acquistata percorrendo la verticale AE eguale alla somma delle altezze de' piani; perocchè nel passar da piano a piano dovrà distruggersi una porzione della velocità da esso acquistata: ed in fatti sia XB la velocità acquistata dal mobile nel percorrere il piano AB. Tirata XZ perpendicolare al piano BC prodotto in Q, s'intenda questa velocità risolta nelle due XZ, ZB. La XZ essendo perpendicolare al piano BC si distruggerà per l'urto nel passaggio del piano AB al piano BC, e resterà la sola ZB. Siccome poi XZ è eguale a sen. XBZ, ed $\angle XBZ + \angle XBC = 180^\circ$ così 1.º Dato l'angolo fatto da' piani si ha la misura della velocità perduta; 2. questa perdita di velocità dee scemarsi a proporzione che l'angolo ottuso si avvicina a 180° ; in guisa che quando giugne a questo punto, o ne differisce per un infinitesimo non v'ha perdita alcuna, o se ve n'ha è anche infinitesima; onde il corpo acquista per piani inclinati contigui una velocità quasi eguale a quella che acquisterebbe cadendo per la verticale che misura l'altezza di tutti i piani, quando questi facciano angoli molto vicini a' due retti.

Allorchè il corpo scende per una curva si può senza molto errore considerare come se scendesse per una serie di piani picciolissimi inclinati fra loro ad angoli poco minori di 180° , e perciò la velocità acquistata alla fine della discesa può dirsi con molta approssimazione eguale a quella che il grave acquisterebbe cadendo per la libera verticale dall'altezza medesima. Onde se il corpo cade per la curva BEC (tav. agg. fig. 16), o per la verticale $BD = AC$, o per l'obliqua BC, avrà alla fine della discesa la stessa velocità. Ma il moto in questi

diversi casi è sempre uniformemente accelerato? Per le rette AE e BC non vi cade dubbio alcuno, ma non può dirsi lo stesso per una serie di piani inclinati, nè per la curva BEC, perciocchè in ogni angolo ne' piani, in ogni punto sulla curva, la gravità relativa o la forza acceleratrice varia. Ma se l'arco non oltrepassi un certo limite sicchè non s'induca un notabil cambiamento nella forza acceleratrice, il moto si potrà come uniformemente accelerato considerare. Onde se un corpo percorra archi simili e similmente posti di curve anche simili, i tempi t , t' impiegati a descriverne le porzioni simili s , s' saranno come le radici quadrate di esse, e nel caso di archi circolari, come le radici de' raggi r , r' .

È chiaro finalmente che un grave per la velocità acquistata per moto uniformemente accelerato, potrebbe con moto uniformemente ritardato nello stesso tempo risalire ad una eguale altezza; e però se dopo di avere scorso l'arco BEC incontri in C il concavo della stessa curva o di altra simile, s'innalzerà per essa in egual tempo fino al punto G, cioè ad una altezza pari a quella dalla quale è disceso.

CAPO IV.

Del pendolo.

47. Il pendolo comunemente è composto di una pallina sospesa all'estremo di un filo flessibile (fig. 62). Le sue principali proprietà sono: 1. d'indicare la direzione verticale, o quella della gravità; 2. di fare delle oscillazioni in un piano medesimo allorchè vien rimosso dalla verticale, e poi lasciato senza dargli alcuna spinta. Ed invero, se si ponga il pendolo in una posizione qualunque, e si lasci cadere liberamente, esso discenderà fino ad l , oltrepasserà questo punto risalendo fino a b , descrivendo un arco lb uguale ad la , quindi ricadrà in l , risalirà in a , e continuerà così per lunga

pezza il suo moto. Si vedrà col porvi mente, che il pendolo nel discendere auinenta di velocità fino in l , e che al contrario va scemandone nel salire da l fino al puoto ove comincia a discendere.

L'angolo *afl* dicesi *angolo di deviazione*, o semplicemente *deviazione*.

Il moto di a in b , o di b in a , è ciò che dicesi un'oscillazione, di a in l una *semi-oscillazione discendente*, e di l in b *semi-oscillazione ascendente*.

L'*ampiezza* dell'oscillazione è l'arco ab misurato per gradi, minuti e secondi.

La *durata* di una oscillazione è il tempo durante il quale il pendolo percorre quest'arco.

Da siffatte osservazioni discende come per prima conseguenza, che il moto del pendolo è il moto perpetuo, perciocchè se discendendo da a esso sale ad un uguale altezza b , è mestieri ugualmente che scendendo da b risalga precisamente in a ; e quel che per la prima volta ha fatto dovrà farlo per la seconda per la terza, e così per sempre.

Questa conseguenza sarebbe rigorosa se in effetti l'altezza del punto b ove giunge il pendolo fosse perfettamente eguale all'altezza del punto a d'onde è disceso; ma l'attrito del punto di sospensione f , e la resistenza dell'aria che la pallina deve urtare, impediscono questa perfetta eguaglianza. La differenza apparisce meglio dopo un certo numero di oscillazioni, e lungi dal maravigliarci, che il moto non sia perpetuo, ci maravigliamo piuttosto ch'esso duri per un tempo sì lungo: perciocchè un pendolo può, senza fermarsi, oscillare per ore intere.

Il pendolo è uno de' più semplici istrumenti della fisica, e frattanto uno di quelli che più importa di conoscere perciocchè esso serve a misurare esattamente il tempo; a determinare la figura della terra, e a dar lume sopra una delle più importanti quistioni che riguardano la gravitazione universale.

48. *Leggi delle oscillazioni de' pendoli.* 1. La durata delle oscillazioni fatte per archi picciolissimi non

dipente dalle ampiezze delle medesime, queste si dicono *isocrone* per dinotare che tutte hanno eguale durata. Le oscillazioni che si eseguono per archi di 4 o 5 gradi non son più da considerare come fatte per archi infinitesimi, e cominciano già ad avere una maggior durata.

2. La durata delle oscillazioni per nulla dipende dal peso della palla o dalla natura della medesima.

3. Le durate delle oscillazioni sono come le radici delle lunghezze de' pendoli...

Queste leggi si dimostrano rigorosamente, mercè i principî della meccanica, ma in fisica soglionsi approssimativamente dimostrare con l'esperienza.

Sarebbe impossibile il dimostrare la prima legge in una di quelle esperienze che soglionsi accompagnare con le lezioni, perciocchè sarebbe mestieri di numerare molte centinaia di oscillazioni; alcune da principio quando si hanno per un arco di 4, o 5 gradi, alcune altre un poco dopo, allorchè son ridotte in un arco di due o tre gradi, e le ultime in sul cessar del moto, quando per vederle uopo è armarsi di lente. Rea a prima vista grande meraviglia il veder che il pendolo impiega lo stesso tempo a percorrere un arco di $\frac{1}{10}$ di grado ed uno di 10° , vale a dire cento voltè maggiore, ma intenderassi di questo fatto la ragione, col por mente alla gravità la quale in quest' ultimo caso ingenera maggiore velocità, perciocchè opera di una maniera più efficace, operando con obliquità maggiore. Cotesta legge dell'*isocronismo* fu una delle prime scoperte del Galilei: dicesi che essendo egli ancor molto giovane, osservava per caso nella cattedrale di Pisa il ciondolar di una lampada sospesa alla volta, e che forte si meravigliasse nel veder periodicamente e con eguali intervalli di tempo que' moti succedersi. Questo bastò a destare il suo ingegno, e questa osservazione di un giovanetto divenne la sorgente delle maggiori scoperte.

La seconda legge facilmente dimostrasi:

Si prendono diverse sfere di metallo, d' avorio,

o di altre sostanze ; e sen fanno pendoli di pari lunghezza ; facendoli oscillare contemporaneamente, vedrassi questi pendoli andar d' accordo per lunghissimo tempo.

Allorchè la gravità opera per fare oscillare un pendolo , essa opera egualmente su ciascun atomo della materia onde è composta la sfera , e però un sol atomo di ferro , per esempio , sospeso all' estremità d' un filo dovrà oscillare con quella stessa velocità con la quale oscillerebbe se vi fossero due atomi riuniti , imperocchè essi hanno forze separate e di eguale intensità ; nè diversamente andrebbe la cosa se vi fosse un numero qualunque di atomi ; ed in vero senza le resistenze e l'attrito , un atomo oscillerebbe come una grande sfera di ferro.

In oltre la gravità operando nella stessa guisa su tutte le sostanze , un atomo di ferro dovrà oscillare come uno di avorio , d' oro , o di platino ; ed in conseguenza tutte le masse , sia qual si voglia la natura di esse , dovranno con la stessa velocità oscillare.

Questa esperienza è importante , perciocchè ci dà un' altra pruova della uniforme maniera di operare della gravità su i corpi tutti.

L' esperienza che ne abbiamo fatta in un tubo vuoto d' aria è molto grossolana , dappoichè la gravità opera appena durante qualche frazione di minuto secondo , mentre ebl pendolo possiamo osservarne gli effetti per ore intere su i differenti corpi. Vero è che essi cadono solo nell' arco di oscillazione il quale in se stesso assai volte ripiegasi ; ma è chiaro per la conseguenza che vogliam ricavarne , poter noi considerare come se i corpi cadessero con moto rettilineo ed uniforme. Mercè di osservazioni di questa natura , per le quali sarebbe mestieri di somma precisione , si potrebbe veramente conoscere se vi sian sostanze imponderabili unite alla materia ponderabile in un modo permanente , ed aventi per rispetto a questa una massa sensibile sotto di egual volume. Dalle osservazioni di Mairan sul proposito non si può alcuna cosa dedurre ;

perciocchè esse non sono state fatte a tale oggetto, ed appartengono ad un' epoca nella quale invano sarebbersi cercata quella esattezza che al presente si può conseguire.

La terza legge poi rendesi aperta, usando pendoli di diversa lunghezza: se, per esempio, si prendan tre pendoli, le lunghezze de' quali siano tra loro come i numeri 1, 4, 9, allora le durate delle oscillazioni debbono essere come i numeri 1, 2, 3; e per fermo, se tali pendoli si facciano oscillare, o col sospendarli l'uno innanzi l'altro, o col ligarli con un doppio filo (fig. 63), numerando le oscillazioni, si vedrà, che il pendolo la cui lunghezza è 1, fa due oscillazioni per ognuna del pendolo lungo quattro, e tre per ognuna di quello lungo 9. Spetta alla meccanica di render ragione di questo fatto importante (1).

(1) Da quanto si disse nel sup. 3.^o si può di leggieri comprendere, il moto del pendolo in una semioscillazione discendente non essere a rigore uniformemente accelerato, nè, per conseguenza uniformemente ritardato quello di una semioscillazione ascendente, e però che volendo fissare i principi fondamentali della dottrina dei pendoli converrebbe entrare nelle teóriche del calcolo sublimé delle quali mi son proposto di non fare uso, affin di non arretrare intoppo a' giovani i quali riduconsi a studiare la fisica avendo solo apparsa la parte elementare delle matematiche. Dirò intanto alcune cose che potranno in qualche maniera rischiarare le tre leggi enunciate dall' Autore. È da sapere, che se un pendolo semplice si faccia oscillare per archi cicloidali ancorchè diversi, farà sempre oscillazioni di egual durata, e ciò per una singolar proprietà della cicloide detta anche curva *tachistocrona*. Questa curva può considerarsi come generata da un punto preso sulla circonferenza di un cerchio che si muove sopra di una retta girando intorno al suo centro. Per ottenere poi le oscillazioni per archi cicloidali uopo è fare il pendolo con un filo flessibile e procurar che esso oscilli fra due ciclobidi (tav. agg. fig. 17) AF, FD, giacchè il pendolo allora dovrà descrivere una curva che da' matematici direbbesi *evolvente* delle cicloidi suddette le quali ne sarebbero l' *evoluta*, ed in matematica è dimostrato che l' *evoluta* della cicloide è cicloide anch' essa. La lunghezza del pendolo da un punto della *evoluta* fino all' *evolvente* si direbbe raggio osculatore, ed un cerchio descritto con esso sarebbe un cerchio osculatore della cicloide *evolvente*, il quale per un arco picciolissimo si confonderebbe con l' arco cicloidale. Onde se per archi cicloidali le oscillazioni sono isocrone ancorchè disuguali, potendosi gli archi di cerchio picciolissimi come cicloidali considera-

49. *Della intensità della gravità, del pendolo semplice, del pendolo composto.* Le leggi delle quali abbiamo parlato non dipendono affatto dalla intensità della gravità. Supponete infatti che còtesta forza diventi 100 volte più intensa, o 100 volte più debole, le piccole oscillazioni sarebber tuttavia isocrone tra loro, e la durata di esse avrebbe ancora la stessa ragione ai pesi de' pendoli, ed alle lunghezze de' medesimi. Ma con tuttochè queste leggi non varino al variar della forza, pure avvi qualche cosa che si muta, ed è la durata assoluta di ogni oscillazione. Se la gravità cessasse di operare in un dato istante, i corpi cesserebber di cadere, ed i pendoli di oscillare; o almeno i corpi cadrebber solo mercè la velocità acquistata, ed i pendoli che troverebbonsi in moto, descriverebbero cerchi interi senza essere tratti sulla verticale, e senza esser fermati da altra causa, fuorchè dall' attrito. Al contrario se la gravità crescesse del doppio, i corpi cadrebbero più veloci ed i pendoli sarebber più pronti a ripeter le loro oscillazioni.

Ma la vera ragione che si ha tra la durata delle oscillazioni, la lunghezza del pendolo, e l'intensità della gravità non può essere dimostrata se non mer-

re, segue che le oscillazioni che si eseguono per questi archi anche disuguali debbano sensibilmente isocrone riuscire.

La ragione della seconda legge è nella natura della gravità.

Allorchè le oscillazioni si eseguono per archi simili e non molto grandi i tempi delle semi-oscillazioni potranno esprimersi con le radici degli archi, ma gli archi simili sono come i raggi, che nel caso presente sono le lunghezze de' pendoli, dunque i tempi delle oscillazioni sonò come le radici delle lunghezze de' pendoli. La cicloide della quale si è fatta menzione è anche fornita di un' alira singolarissima proprietà, di essere, cioè, la curva di più celere discesa, vale a dire che se da un' altezza data si faccia discendere un corpo per un arco circolare e per un arco cicloidale, il corpo impiegherà il minimo tempo a discendere per quest'ultima, proprietà che il Galilei credette appartenere al cerchio, avendo fatta l'esperienza col piano inclinato e con l'arco circolare. E ciò basti per ora: ma coloro che bramassero alcuni particolari intorno alla cicloide li troveranno nel supplemento 4.^o ove ho recato la dimostrazione della formula che qui appresso vien riportata dall' Autore.

le leggi della meccanica, e noi dobbiam restringerci a riferir solo la formola che serve ad esprimerla.

* Sia l la lunghezza del pendolo qualunque espressa in metri;

Sia t la durata di un'oscillazione di questo pendolo, espressa in secondi sessagesimali;

Sia π la ragione approssimativa della circonferenza al diametro, il cui valore, come è noto; è $\pi = 3,1415926$.

Da ultimo, sia g l'intensità della gravità, vale a dire il numero de' metri che esprime la velocità di un corpo dopo un minuto secondo di libera caduta.

Si avrà per la formola del pendolo

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}; \text{ d'onde si ha } g = \frac{\pi^2 l}{t^2} (1);$$

vale a dire, che l'intensità assoluta della gravità è uguale al quadrato della ragione approssimativa della circonferenza al diametro, moltiplicato per la lunghezza del pendolo, sul quale si osserva, e divisa per lo quadrato del tempo di un'oscillazione.

Per avere dunque l'intensità della gravità, basterà il fare oscillare un pendolo, misurarne la lunghezza per avere l , osservare la durata di un'oscillazione per avere t , e dopo fare il calcolo indicato.

Questa formola compete al pendolo *semplice*; così vien chiamato un pendolo ideale, il quale ad immaginare è facile, ad eseguire impossibile. Esso dovrebbe esser composto di un filo d'invariabil lunghezza e senza gravità, all'estremo del quale dovrebbe esser posta una sola molecola di materia grave.

5o. Ogni pendolo che non è semplice come il precedente, dicesi pendolo composto: così un filo inflessibile e senza gravità, cui fossero unite solo le due molecole gravi m ed n (fig. 64), sarebbe un pendolo composto. In questo, la velocità di oscillazione

(1) V. il supplimento 4°.

si compone dalle velocità di oscillazione che competerebbero separatamente a ciascuna delle piccole masse, liberamente oscillando. La molecola m , la quale sta alla distanza fm dal punto di sospensione tende ad oscillare più velocemente della molecola n , la quale è distante dal punto medesimo per fn ; ma poichè esse sono unite l'una all'altra, costrette a procedere insieme ed a fare le oscillazioni nello stesso tempo, la prima riceverà un ritardo dalla seconda, e la seconda un acceleramento dalla prima; d'onde segue una velocità intermedia la quale è la velocità del pendolo composto. In ogni corpo che oscilla, farsi una simile compensazione tra tutte le differenti velocità che prenderebbero le diverse molecole, se ciascuna liberamente oscillasse. Per far meglio intendere questa fondamentale verità, noi prenderemo anche un altro esempio; *fp* (fig. 65) rappresenti un pendolo ordinario simile presso a poco a quelli che servono di regolatori agli orologi; f sia il punto fisso, ft sia ciò che dicesi l'asta, ed l la lente. Il punto m , e quelli che son, con esso vicini all'asse di sospensione, andrebber velocissimi, se fosser soli. Al contrario il punto estremo n , e quelli che son con esso più bassi dovrebbero andare con molta lentezza. I primi dunque son ritardati per lo sforzo che fanno per trarre gli ultimi, e questi ricevono acceleramento dall'azione di quelli. Dunque tra il punto m , ed il punto n avvi un certo punto c , il quale non è nè accelerato, nè ritardato e che fa le sue oscillazioni precisamente come se fosse solo, e liberamente sospeso all'estremo del filo fc , questo punto degno di esser notato, è detto *centro di oscillazione*. In ogni pendolo composto si trova necessariamente uno o più centri di oscillazione, e la loro comune distanza dal punto di sospensione è ciò che dicesi *lunghezza del pendolo*. Questa lunghezza è effettivamente eguale a quella del pendolo semplice che oscillerebbe colla stessa velocità del pendolo composto. Il centro di oscillazione dipende dalla forma del corpo

che oscilla, quando questo è omogeneo, e dipende dalla forma, e dalla densità delle sue parti, quando è eterogeneo. Un pendolo tutto di rame avrebbe, per esempio, il suo centro di oscillazione in *c* (fig. 65) quando la sua asta fosse molto densa, ed in *d*, se si riducesse ad un filo. Un piccol peso che si aggiungesse verso l'estremità inferiore *n* farebbe discendere anche il centro di oscillazione, e lo farebbe inalzare, se venisse aggiunto verso la parte superiore. E però in alcuni orologi osservasi un *corsojo* pesante, il quale può scorrere lungo l'asta del pendolo, e si fa discendere o ascendere, per far ritardare o avanzare l'orologio; ma più comunemente questo effetto producesi mercè la stessa lente la quale puossi inalzare o abbassare con piccol moto prodotto dal volger di una vite.

Le oscillazioni di un peso che sospendesi ad un filo verticale, e le oscillazioni di un *bilanciere*, il quale regola il moto di un orologio da tasca (fig. 66), si eseguono egualmente secondo le leggi del pendolo composto; ma la forza operante nel primo caso è l'elasticità di torsione del filo, e nel secondo caso l'elasticità della molla spirale, messa in azione dall'impulso della *ruota d'incontro*.

Dovendo necessariamente fare uso di pendoli composti, chiaro si scorge da quel che finora abbiamo detto, che per conoscere la intensità della gravità per mezzo delle osservazioni del pendolo, due grandi difficoltà ci si presentano: primieramente quella di osservar con esattezza la durata di un'oscillazione; secondo quella di precisar la lunghezza del pendolo che si fa oscillare, perciocchè solo dopo aver rinvenuti questi due essenziali elementi il pendolo composto può esser trattato come il pendolo semplice, e si può allora ado-

perar la formola $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, per ricavarne il valore di *g*, che è l'intensità della gravità.

Borda fu il primo fisico che ci fe' dono di un me-

todo esatto di misurare i pendoli: egli era fatto per le ricerche di questa natura, perciocchè avea il dono della precisione. Le sue sperienze furon fatte nel 1790 all'osservatorio di Parigi, e si può ben dire che prima di questo tempo non eravi luogo della terra, ove la forza di gravità fosse conosciuta. I signori Biot, Bouvard e Mathieu ripetettero le stesse esperienze nel 1808, seguendo le orme di Borda, e con istrumenti analoghi. Nel 1818 il signor Arago ed il signor Humbolt verificarono queste esperienze per altre vie. E tutte queste esperienze confermarono l'esattezza di quelle di Borda, e perciò segue, che l'intensità della gravità a Parigi sia quella trovata da costui, cioè di $9^m, 8088$: vale a dire che un corpo il quale cada nel vòto durante un minuto secondo, acquista una velocità, per la quale se la gravità più non operasse su di esso, percorrerebbe $9^m, 8088$, in ogni minuto secondo: il che può esprimersi anche col dire, che un corpo il quale cadesse nel vòto, essendo prima in quiete, percorrerebbe in un minuto secondo uno spazio di $4^m, 9044$, perciocchè noi abbiamo veduto che la velocità, che il corpo acquista dopo l'unità di tempo è doppia dello spazio percorso durante la medesima, si potrà vedere nel quadro posto alla fine di questo capo, l'unione delle osservazioni del pendolo, fatte nei diversi luoghi della terra, e sarà facile il dedurne l'intensità della gravità in ogni stazione per mezzo della formola

$$g = \frac{4\pi^2 l}{t^2}$$

Ed invero conoscendo la lunghezza l del pendolo che fa un'oscillazione in t^m sessagesimale, basterà di supporre $t = 1$, di mettere per l il suo valore ridotto in metri e per π il suo valore 3, 1415926.

51. *Della figura della terra.* — Si sa, le più alte montagne non esser che piccole prominenze per rispetto al globo terrestre; come presso a poco sarebber dei granelli di arena sparsi sopra un globo che avesse un metro di raggio; e quindi le più grandi profondità

de' mari non sono che piccole cavità analoghe alle prominenze de' monti. Onde la superficie della terra, presa nella sua totalità è sensibilmente regolare, e può come tale nel calcolo esser considerata. I più antichi astronomi conobber la curvatura della superficie terrestre, e siccome essi pensavano la sfera esser la figura la più perfetta, così non dubitaron punto, che la terra non avesse cotesta figura; puossi anche da alcuni documenti storici presumere che essi abbian fatto qualche tentativo per misurarne le dimensioni, e che finalmente vi sian pervenuti con sufficiente approssimazione. Ma la terra non è una sfera; essa è elevata verso l'Equatore, depressa verso i poli, e noi ci adopereremo, d'indicare in una maniera generale la causa di questa depressione, e il mezzo col quale si è potuto averne la misura.

Se la terra fosse solida in tutta la sua massa; o solo nella crosta esterna che le interne parti racchiude, potrebbe avere una qualunque figura, nè la sferica o la sferoidale di necessità le converrebbe: vi sarebbe solo una certa relazione tra la sua figura ed i periodi de' suoi moti. Se al contrario la terra fosse interamente fluida, essa dovrebbe necessariamente avere la figura di sferoide, o di sfera depressa verso i poli, perciocchè la forza centrifuga nascente dal moto di rotazione che la terra esegue intorno del proprio asse, spingendo sempre più il fluido, lo accumulerebbe verso le regioni dell'equatore, ove lo manterrebbe a più alto livello. Ma tutto intero il globo terrestre, essendo nel tempo stesso composto di sostanze solide che formano la terra ferma e le montagne, e di masse liquide che empiono le profondità de' mari; chiaro si scorge esservi due quistioni a proporre intorno alla figura della terra, cioè: quale è la forma generale della superficie solida della terra ferma, e quale quella della superficie delle acque. Per quest'ultima non è punto da porre in dubbio che non sia elevata verso l'equatore, perciocchè non avvi alcuna cosa che possa

impedire della forza centrifuga l'effetto ; ad essa ubbidendo le acque dell'oceano ; non ostante le isole e la tortuosità delle grandi rive , presso che in quella guisa stessa che farebbero se fossero di molte migliaia di metri al di sopra delle montagne , sollevate.

Per ciò che appartiene la superficie della terra ferma , risulta da osservazioni che sonosi fatte , essere anch' essa depressa , quasi come la superficie delle acque , vale a dire che essa presenta quella curvatura che avrebbe presa tutta la terra se fosse stata un tempo tutta liquida , e si fosse consolidata solo dopo di avere girato intorno a se stessa , come al presente gira , e dopo aver presa la figura che necessariamente nascer deve da questo moto di rotazione. Una forte ragione per dimostrare che anche la superficie della terra ferma è depressa , è che le montagne che son verso i poli non son molto elevate al di sopra del livello del mare : e pure se la superficie della terra fosse sferica , e quella delle acque depressa , è chiaro dover essere all' equatore più basse che al polo proporzionalmente a questa depressione , vale a dire di 4 , a 5 leghe , mentre pare al contrario esser le montagne all' equatore più alte di quelle che sono verso il polo.

Per formarsi un' idea de' principj su i quali poggiasi la diretta e *geodetica* misura della terra , basta il considerar due punti lontani fra loro ed uniti per mezzo di una catena di triangoli , per mezzo de' quali si possa conoscere la distanza che passa tra questi punti. Prendiamo per esempio Dunkerc e Formentera , che stanno nel meridiano di Parigi ; le verticali di questi due punti sono inclinate fra loro per un angolo di $12^{\circ} 22' 14''$. Queste due linee convergono verso il centro della terra o lì presso. Se prendendo per centro il punto ove esse incontransi si descrivesse un cerchio che passasse per Dunkerc e per Formentera , quest' arco appunto sarebbe di $12^{\circ} 22' 14''$. Or dalla catena de' triangoli si deduce, esser la distanza tra questi due punti misurati su quest' arco o approssimati-

vamente su di esso, di metri 1374438, 72. Dunque se $12^{\circ} 22' 14''$ formano questa distanza, facile riuscirà di trovare la lunghezza di un sol grado, cioè la lunghezza che dicesi grado del meridiano. Se la terra fosse sferica tutt' i gradi sarebbero eguali, sarebbero cioè dello stesso numero di metri, e reciprocamente.

Ma se all'opposto i gradi si trovano disuguali si dovrà conchiudere, che la terra non sia sferica. Si vede perciò che (fig. 69) se è ellittica o depressa verso i poli, le verticali dell'equatore distanti per 1° , debbono convergere più di quelle de' poli distanti fra loro anche di 1° : onde l'arco di 1° compreso fra le prime verticali dovrà avere minor lunghezza di quello compreso tra le seconde come quello che appartiene ad un cerchio di raggio più corto; donde segue che se i gradi dell'equatore troverannosi più corti di quelli de' poli, si potrà conchiudere con la maggiore certezza, essere la terra verso i poli depressa.

Ora alcuni archi, ciascuno di parecchi gradi, sono stati misurati su diversi meridiani ed a varie latitudini: Da Bouguer e la Condamine al Perù; da Lambton nelle Indie; al Capo di Buonasperanza da Lacaille; da Mason e Dixon nella Pensilvania; da Lemaire e Boscowich in Italia: in Francia da Delambre e Mechain; nella Spagna e sulle coste del Mediterraneo da Arago e Biot; in Inghilterra nelle vicinanze di Greenwich, da Roy, Delambre e Mechain; nella Svezia da Melanderhielm.

Da tutte queste misure due conseguenze si ricavano: primieramente, la terra non essere sferica, perciocchè i gradi presi a diverse latitudini sono disuguali, ed in secondo luogo, essere la terra depressa verso i poli, imperciocchè la lunghezza de' gradi cresce procedendo dall'equatore verso i poli. Dal paragone di queste misure e da alcune geometriche considerazioni si è potuto conoscere la lunghezza del raggio terrestre per diverse latitudini. Sonosi perciò avuti i risultamenti che seguono:

Raggio dell'equatore.	6376984	metri	ossia	1434, 8	leghe
Raggio del polo . . .	6356324		ossia	1430, 1	
Differenza	2060		ossia	4, 7	

La *depressione* è la differenza tra il raggio equatoriale ed il raggio polare divisa per lo raggio equatoriale, e però dalle suindicate misure risulta di $\frac{1}{308,65}$.

Il raggio medio della terra è quello che corrisponde alla latitudine di 45° ed è di $6336745^m = 1432,4$ leghe. Dal paragone di alcune altre misure, trovasi un altro raggio poco differente da questo, cioè di 6366194 . La differenza è trascurabile nella maggior parte delle applicazioni, perciocchè 500 metri sono appena la decima parte dell'altezza del Monte Bianco.

52. Le osservazioni del pendolo possono anche servire a far conoscere la depressione della terra; ma per ottenere ciò è mestieri ricorrere ad una formola di meccanica esprimente la ragione che passa tra le intensità della gravità per due punti della superficie del globo, e le distanze di questi punti per rispetto al centro della terra. Per mezzo di questa formola abbiamo potuto discutere tutte le osservazioni riportate nel quadrò posto in fine di questo capo; ma senza entrare qui nei particolari di questa discussione ci limiteremo ad indicare le principali conseguenze che ne risultano, cioè: 1.^o che la natura del suolo sul quale si fanno le osservazioni ha una sensibile influenza sulle oscillazioni del pendolo, 2.^o che essa per conseguenza influisce più o meno sull'equilibrio, e sul livello delle acque; 3.^o finalmente, che per queste cagioni la superficie del mare ha probabilissimamente delle ineguaglianze più o men grandi, cioè delle eminenze e degli abbassamenti i quali sebbene non tolgano in generale la depressione di essa dalla teoria indicata; pure fanno sì che non sia una superficie geometrica e perfettamente simile a quella di un ellissoide di rivoluzione. Laonde siano qualsivogliano le cagioni che abbian potuto operare nella origine del mondo, e quelle che siansi di poi manifestate nelle catastrofi avvenute, sarà sempre vero, siccome ciascuno di leggieri comprende; che tutte le materie siano state confuse, e che le più

pesanti e le più leggiere sian quasi uniformemente ripartite in tutta l'estensione di ciascuno strato. Facea mestieri che così avvenisse per la regolarità de' moti e per l'ordine delle stagioni, perciocchè i fenomeni in altra guisa accaderebbero se, per esempio, uno degli emisferi fosse leggiero come il sughero e l'altro pesante come il piombo. Ma ad onta di questa omogeneità generale non è difficile che nel globo vi sia qualche eterogeneità locale che abbia potuto alterarne la superficie, ed in diverse distanze produrre depressioni o elevazioni.

53. *Deviazione del filo a piombo per l'attrazione delle montagne* — Tutte le parti della materia attraendosi a vicenda, a prima vista non si comprende perchè le grandi masse quali sarebbero i monti non manifestino sensibile azione su i corpi che li circondano; perchè, per esempio, allorchè si fa cadere una pietra dalla cima di un monte questa cadendo non si dirige verso il centro di questo che è vicinissimo, ma in vece si dirige verso il centro della terra che è ad una distanza grandissima. Potrebbe anche taluno maravigliarsi nel vedere che le mura di un edificio non producono alcuno effetto, e che in un appartamento, un corpo non cada verso il cielo delle camere anzi che sul pavimento, presso a poco in quella guisa che presso gli antipodi i corpi cadono salendo verso di noi. Ma se si vorrà por mente, che un monte grandissimo non è che un grauello di arena in paragone della terra, più non si resterà da maraviglia compreso nel veder che le montagne ordinarie non possono attrarre verso di loro i corpi che la terra trae verso di se. L'effetto che queste produr potrebbero sarebbe quello di far deviare un poco i gravi cadenti, dalla verticale. E però se queste qualche deviaménto produrranno, si potrà esser certo che la gravità, siccome abbiám detto, sia una forza universale che opera sulla materia, e che non siavi un vortice intorno alla terra, nè una particolar virtù verso il suo centro

per la quale i corpi siano spinti o simpaticamente precipitati.

Bouguer fu il primo cui venne in pensiero di cercare nell'attrazione delle montagne una pruova dell'attrazione universale della materia, perciocchè se queste han potere di attrarre debbon deviare il filo a piombo (1); Ma come conoscere se il filo a piombo abbia deviato? la stessa causa che cambierebbe la sua direzione cambierebbe anche quella della superficie delle acque stagnanti cui vien riferita, laonde non si potrebbe conoscere nè l'uno nè l'atro di cotali cambiamenti. E però è mestieri ricorrere alle stelle; ed anche in questa congiuntura uopo è cercare nel cielo una direzione fissa per l'esperienze di questo genere. Sul dorso del Kimborako una delle più alte montagne della terra, Bouguer fece le sue esperienze. Incontrò mille ostacoli per l'asprezza de' luoghi, e per le orribili tempeste che ebbe a sopportare in quelle alte regioni. A fronte di tanti pericoli, pure venne a capo del suo disegno, e trovò nel filo a piombo una deviazione di 7" o 8". Questi monti vulcanici hanno sicuramente delle immense cavità senza le quali la forza in esame sarebbe maggiore.

Dopo Bouguer sonosi l'esperienze in diversi luoghi ripetute; Maskeline nel 1772, le ha principalmente ripetute con precauzioni grandissime alle falde del monte Shehalliens in Iscòzia ove ha trovata una deviazione di 54". Donde si può inferire che le montagne hanno influenza sul filo a piombo, e che lo fan deviare dalla verticale per un angolo sensibile, dipendente dal volume e dalla natura delle sostanze che le compongono. Maskeline fece le sue sperienze per dedurre la ragione tra la massa della terra e quella del monte, e per con-

(1) Il Newton lasciò scritto che se si fosse trovato un monte di figura conica avente l'altezza di 3 miglia ed il diametro della base di 6, ed una densità eguale a quella della terra, il filo a piombo in vicinanza di questo avrebbe declinato dalla verticale per un angolo di 2". Le osservazioni di Bouguer e la Condamine sul Kimborako, quelle di Maskeline su di un monticello della Scozia han luminosamente confermate le predizioni del Valentuomo.

seguenza anche la densità della terra; ed in questo modo trovò, la densità media della terra essere 4,56 ovvero approssimativamente quattro volte e mezzo maggiore di quella dell'acqua: Io mi penso essere stata questa la prima notizia che siasi avuta intorno alla natura delle sostanze che formano gli strati più interni del globo.

Nel 1824 il signor Carlini fece sul monte Cenisio osservazioni di altra natura, dalle quali fu guidato allo stesso risultamento.

54. Finalmente andiam debitori a Cavendish di un'altra determinazione della densità media della terra. Il suo istrumento sembra essere il più perfetto che usar si possa per siffatte ricerche. La prima idea di esso si deve a Michell, della società reale di Londra: costui non avendo avuto il tempo di recare a compimento le sue esperienze, e vedendosi vicino a morire, lasciò lo istrumento al signor *Francis-Iohan-Hude Wollaston* professore a Cambridge, e questi ne fe dono a Cavendish che avea fama di uno de' più solenni fisici dell' Inghilterra. Ecco le principali idee sulle quali fondasi lo strumento: se si abbia una grande sfera di metallo di 10 piedi di raggio, è chiaro non poter questa far deviare il filo a piombo, facendolo appena le montagne di pochi secondi deviare: ma se invece di un filo verticale sul quale opera la gravità, si presentasse a questa sfera nel piano del suo centro una leva orizzontale ben' equilibrata e mobilissima, è chiaro dovere la sfera attrarla e farla girare, perciocchè la gravità in questo caso sarebbe distrutta. La leva orizzontale dunque sarebbe una maniera di pendolo, oscillerebbe per l'attrazione della sfera anzidetta, come il pendolo comune per quella della terra. E se in vece di una sfera due se ne ponessero in vicinanza de' due estremi della leva, si comprende l'effetto dover esser doppio; onde con questo mezzo, prendendo delle sfere assai grandi e delle leve mobilissime, potrassi senza dubbio rendere aperta l'azione della materia sulla materia, e produrre

RVAZIONI prima, cap. 4, p. 129, e 130.

ACCELERAMENTO o RITARDO del pendolo a Parigi trasportato ad ogni stazione ridotta (7)	LUNGHEZZA del pendolo sessag le calcolato l'aggrega di tutte le, osserv (8)	ZIONI
	993,9001	ze del pendolo come sonosi avute linea; per Sig: Biot é il millime- g: Freycinet e Duperrey, l'unità Sig: Kater e Sabino, l'unità é
+ 46 ⁿ 9 + 28,8 + 9,3 00,0 - 12,4 - 18,0 - 17,8 - 38,7	994,8870 994,5096 994,0918 995,9001 993,6305 993,5474 993,5273 995,0055	inghezze del pendolo sessagesimale, del mare mercè la formola comune forme di riduzione, per discutere nto o il ritardo che soffirebbe in di Parigi. ammonendolo successiva-



in piccolo intorno a queste sfere di metallo ciò che in grande sulla terra producesi.

Lo strumento di Cavendish è espresso dalle figure 67 e 68. La figura 68 ne rappresenta la proiezione orizzontale: u e v son le due sfere di metallo, esse erano di piombo e ogni una pesava 157^{lb}, 925; $abcd$ rappresenta la sezione di una cassa nella quale era chiusa la leva mobile per difenderla da qualunque agitazione dell'aria; s ed s' son due piccole sfere sospese a' capi estremi della leva mobile e perfettamente equilibrata.

La figura 67 esprime un taglio verticale, ove le stesse lettere le medesime cose dinotano: ivi si scorge come le due piccole sfere sian sospese per mezzo di un filo di argento il quale penetra gli estremi della leva, si congiunge in n col filo verticale ff forte a segno da sostenere l'asta e le piccole sfere s , s' , e la torsione del quale è la sola forza che si oppone alle oscillazioni: le due masse u e v sono anch'esse sospese da spranghe di ferro, e posson rotare intorno alla cassa, esse passano continuamente dalle posizioni u , v segnate in linee continue, in quelle u' , v' segnate in linee punteggiate; son recate in tali situazioni per un'operazione che cseguesi da fuori: da ultimo tutto lo strumento è chiuso in una stanza senza porte e senza fenestre, ed è illuminato da una lampada g posta al di fuori del muro per non riscaldare l'aria interna, e per mezzo della lente ll si osservano i moti che produconsi.

Essendo tutto in quiete e le masse u e v nella situazione nella quale non operano vale a dire in direzione perpendicolare alla leva mobile, si fanno girare per ridurle nella posizione indicata dalla figura 68, allora la leva comincia a girare, le piccole sfere s ed s' sono attratte ciascuna verso la corrispondente sfera grande, e le oscillazioni incominciano. E ciò prova in una maniera assai chiara la materia attrar la materia, e le palline s ed s' tendere a cadere sulle grandi sfere di piombo, per quella medesima forza che le farebbe cadere sulla terra, e la differenza nascer solo dalla dif-

ferenza delle masse. Questo fatto importante essendo fermato, è mestieri osservare la durata delle oscillazioni delle piccole sfere, la lunghezza della leva agli estremi della quale oscillano, e la distanza delle medesime da' centri delle grandi sfere u e v , i quali son da considerare come i centri di attrazione. Quindi correggendo i risultamenti col tener conto degli effetti della torsione del filo di sospensione, si giunge a conoscere la forza di una sfera di piombo del peso di $157^k, 925$ per fare oscillare un pendolo semplice di conosciuta lunghezza e posto ad una data distanza dal centro di essa. Ridotta la quistione a questo punto, basterà una proporzione per aver la massa della terra paragonata a quella del globo di piombo, perciocchè queste masse sono tra loro come le lunghezze de' pendoli semplici a secondi posti ad uguali distanze dal centro. In siffatta proporzione tutto è noto tranne la massa della terra, la quale può perciò esser dedotta; si conosce poi il suo volume mercè la misura del meridiano, e dividendo finalmente la massa per lo volume si avrà la sua densità media. Per ultimo risultamento di queste belle esperienze, Cavendish trova la densità media della terra di 5, 48, vale a dire cinque volte e mezzo la densità dell'acqua approssimativamente.

Conoscendo la densità ed il volume della terra, è facile conoscere di quanti chilogrammi sia il suo peso, o forse meglio quanti chilogrammi di peso si avrebbero se si potessero prendere successivamente a pezzi, per esempio ognuno di un metro cubico, tutte le sostanze dalle quali essa è composta per pesarle in una bilancia, a Londra, o a Parigi, e se si potessero tutte riporre al proprio luogo dopo di averle pesate; perciocchè da quanto abbiám detto sull'attrazione generale della materia, possiamo esser certi, che nel pesare un pezzo, tutte le molecole del globo concorrono con la loro azione a far pendere la bilancia.

Nelle osservazioni e ne' calcoli astronomici, la

massa dei pianeti e quella del sole si valutano per mezzo della massa della terra; donde segue che dal peso della terra giungiamo a conoscere il peso di tutt'i pianeti. Laonde il piccolo strumento di Cavendish è una bilancia nella quale si può pesare il mondo.

SUPPLEMENTO 4°.

Schiarimenti sulla dottrina de' pendoli.

I.

* *Di alcune proprietà della cicloide.* — Volendo esibire una dimostrazione della formola $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, recata dall'Autore, fa d'uopo parlare delle principali proprietà della cicloide.

Se un cerchio AZ (Tav: agg: fig: 18) giri sopra una retta AD, fino a che il punto che giaceva su questa retta in A la tocchi di nuovo in D, un cotal punto descriverà una curva ACD che dicesi *cicloide*. La retta AD dicesi *base* della cicloide; la CE perpendicolare nel mezzo di essa dicesi *asse* di questa curva, ed il punto C *vertice*: il cerchio AZ finalmente eguale ad EOCQ, *cerchio generatore* è comunemente chiamato.

Non si durerà fatica ad intendere, essere la base della cicloide eguale alla circonferenza del cerchio generatore, e qualunque porzione AF della base uguale alla corrispondente porzione FKM della periferia suddetta. Or tirando MP perpendicolare ad EC e le corde eguali MF, OE, sarà altresì MO = FE. Essendo poi FE = AE - AF = CIOE - FKM = CIOE - OLE = CIO, sarà la parte MO dell'ordinata MP compresa tra la curva e la circonferenza del circolo generatore, uguale al corrispondente arco CIO del cerchio suddivisato.

Prendasi nella cicloide l'arco Mm infinitesimo, e sia MT la tangente in M ; si tiri per lo punto m , l'ordinata mp vicinissima per conseguenza ad MP ; per lo punto O si meni OT tangente al cerchio generatore, e per lo punto M , Mr parallela ad OT . Per le cose dette sarà $MO = CIO$; $mo = CIO$; e perciò $mr = Oo$. Inoltre essendo $mr : Mr = MO : OT$, ed $mr = Oo = Mr$, sarà $MO = OT$, e però gli angoli OTM , ed OMT saranno eguali. E poichè l'arco $OC = CQ$ sarà l'angolo $OEC = COQ$, ma l'angolo $OEC = TOC$ (prop. 32 lib. III El.), dunque l'angolo COQ è uguale a COT , e perciò l'angolo TOQ , è doppio di COQ ; ma l'angolo TOQ è anche doppio dell'altro TMO , l'uno perchè esteriore, l'altro perchè interiore ed opposto dimostrato eguale ad $MT O$; dunque l'angolo COQ sarà eguale all'angolo TMO , e però OC sarà parallela ad MT . Da ciò apparisce la maniera di poter tirare una tangente alla cicloide.

Si consideri un filo ACE applicato sopra una curva rigida AE (Tav. agg. fig. 19). Se questo filo si *sviluppi*, tenendolo sempre teso, il suo estremo A descriverà una curva AMB , alla quale sarà sempre perpendicolare la porzione del filo sviluppato, che è tangente alla curva AE . Così per esempio AC sarà eguale ad MC , questa porzione MC del filo è tangente alla curva in C , ed è perpendicolare all'altra che genera. Qualunque arco infinitesimo MM' della curva AB potrà esser considerato come un archetto di cerchio descritto col raggio MC , e tutta la curva si può tener come composta dalla unione di un infinito numero di questi archetti infinitesimi. La curva AE dicesi l'*evolvente* della curva AMB ; CM sarebbe il *raggio osculatore*, detto anche *di curvatura*, per lo punto M . La teorica delle curve osculatrici, de' raggi d'osculo, delle evolventi ecc. è di pertinenza del calcolo subline, per cui basti per ora il sapere che nella cicloide AB il raggio osculatore MC è eguale al doppio della corda

O D ; il che ammesso , si dimostra, essere l'evoluta di una cicloide anche una cicloide eguale all'evolvente , avendo entrambi lo stesso cerchio generatore.

In fatti sia B O D il cerchio generatore della cicloide A B a , M T la tangente in M , e C M il raggio osculatore ad essa perpendicolare. Dal punto M si abbassi la M P perpendicolare sopra l'asse B D , e si tirino le corde B O , O D. Essendo B O parallela alla tangente M T , per le cose dette innanzi, sarà O D parallela ad M C. Si compia il rettangolo A E con la A D , e con la A B' = E D = D B , e si descriva sopra A B' il semicerchio A Q B' : dal punto A si meni A Q parallela ad M C , e si uniscano i punti C , Q. L'angolo N A Q è uguale al suo alterno N D O : dunque gli archi O I D , A L Q (prop. 32, 29 lib. III. El.), e le corde O D , A Q che li sottendono sono eguali. Ma per le cose innanzi discorse l'arco O I D = A N , onde A N è anche eguale ad A L Q. Inoltre poichè $2 O D = M C$, ed $OD = M N$, sarà $OD = C N$, e però $C N = A Q$; e quindi $A N = Q C$; Dunque si ha $Q C = A L Q$ ch'è una proprietà della cicloide. Laonde si può conchiudere che l'evoluta della cicloide è un'altra cicloide eguale all'evolvente , perciocchè entrambi hanno lo stesso cerchio generatore.

Un arco qualunque A C della cicloide A C E è eguale ad $M C = 2 O D = 2 A Q$. Dunque un arco qualunque di cicloide è doppio della corrispondente corda del cerchio generatore, onde anche A C' sarà eguale a $2 A Q'$; e C C' differenza tra A C ed A C sarà doppia della differenza tra le corde A Q , A Q' la quale differenza puossi determinare descrivendo un arco di cerchio col centro A ed intervallo A Q , ovvero per mezzo della Q o perpendicolare ad A Q' ; onde l'archetto cicloidale C C' = $2 Q' o$.

Sia $A C D$ (Tav. agg. fig. 17) la cicloide generata dal cerchio $E G C$ il quale abbia per diametro

$E C = \frac{1}{2} r$. Tagliato nella semicicloide $A C$ il seg-

mento picciolissimo $M N$, si tirino perpendicolari ad $E C$ le parallele $M m$, $N n$, tirinsi le corde $C G$, $E G$, $g C$, e la $g O$ perpendicolare sulla $C G$. Essendo l'archetto $M N$ infinitesimo il moto di un grave che scende per esso si può come uniforme considerare, e però il tempo impiegato a percorrerlo sarà espresso

dalla form ola $t = \frac{s}{v} = \frac{M N}{v}$. Ma la velocità del grave

in M è quella acquistata per $A M$ ovvero per $E m$ (sup. 3.), onde sarà $v = \sqrt{2g} \cdot \sqrt{E m}$, e però si ha

$t = \frac{M N}{\sqrt{2g} \cdot \sqrt{E m}}$. Ora essendo l'angolo $E G C$ retto,

si ha $E G^2 = E C \cdot E m$, e perciò $\sqrt{E m} = \frac{E G}{\sqrt{E C}}$, e quin-

di $t = \frac{M N \cdot \sqrt{E C}}{\sqrt{2g} \cdot E G} = \frac{2 G O \cdot \sqrt{E C}}{\sqrt{2g} \cdot E G}$, essendo per la

natura della cicloide $M N = 2 G O$. Inoltre i triangoli rettangoli $E G C$, $G O g$ sono simili, perchè essendo l'arco $G g$ infinitesimo, esso si confonde con la tangente tirata dal punto G , e quindi l'angolo $O G g$ è uguale a quello costituito nell'alterno segmento cioè all'angolo $G E G$, e però si ha $G O : G g = G E : E C$, e permutando $G O : G E = G g : E C$, e

quindi $\frac{G O}{E G} = \frac{G g}{E C}$: onde si avrà $t = \frac{2 \sqrt{E C} \cdot G g}{\sqrt{2g} \cdot E C} =$

$\frac{2 G g \sqrt{E C}}{\sqrt{2g} \cdot \sqrt{E C} \cdot \sqrt{E C}} = \frac{2 G g}{\sqrt{2g} \sqrt{E C}} = \frac{2 G g}{\sqrt{\frac{1}{2} r} \sqrt{2g}} =$

$\frac{2 G g}{\sqrt{r g}}$.

Se si ragioni in simil guisa per tutti gli archetti che costituiscono la semicicloide troveremo componendo, che Gg esteso fra i limiti E ed $E G C$ sarà $\frac{\pi r}{4}$, essendo $\frac{r}{4}$ il raggio, e perciò dicendo T il tem-

po per la intera semicicloide avremo $T = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r}{\sqrt{gr}}$

$= \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{r}{g}}$, e perciò il tempo dell'intera cicloide è espres-

so da $\pi \sqrt{\frac{r}{g}}$. E questo valore convenendo a tutti gli archi anche ineguali, si vede che qualunque ne sia la grandezza, son sempre descritti in tempi eguali, vale a dire che le oscillazioni per archi cicloidali sono isocrone.

Essendo l'evoluta della cicloide un'altra cicloide eguale alla prima; s'intenderà facilmente che un pendolo FC , che oscilli fra le due semicicloidali AF , FD descriverà la cicloide ACD , e che le sue diverse porzioni come SC' debbano esserne i raggi osculatori, e potendosi i piccoli archi descritti da' raggi osculatori prendere per archi circolari, ed i piccoli archi circolari per archi osculatori, segue che i piccoli archi circolari si posson tenere come archi cicloidali, e però le oscillazioni fatte per essi debbono sensibilmente isocrone risultare.

È chiaro poi, il cerchio osculatore della cicloide nel punto C avere per raggio $FC = 2 EC = r$, onde un piccolo arco cicloidale preso verso il punto C è un arco di cerchio del raggio r . E però il tempo dell'oscillazione per un picciolissimo arco di cerchio del

raggio r sarà espresso dalla formola $t = \pi \sqrt{\frac{r}{g}}$ ovve-

ro perchè r è la lunghezza del pendolo, $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ che

è la formola dall'Autore riportata.

E quì giova osservare che sebbene il moto del pendolo sia alternativamente accelerato e ritardato, da un punto di regresso all' altro di ciascuna oscillazione, pure perchè le durate delle oscillazioni sono eguali, la serie degli spazî percorsi in un numero qualunque di oscillazioni, può come trascorsa con moto uniforme esser considerata; ecco perchè il moto del pendolo è comunemente, e giustamente usato per la misura del tempo.

Il valore di t espresso dalla formola ritrovata, ha luogo nel vòto e nell' aria, imperciocchè se nella semioscillazione discendente, si accresce il tempo, esso di altrettanto si diminuisce nella semioscillazione ascendente, con lo scemarsi l' ampiezza della oscillazione intera, come ha dimostrato il Poisson.

Dicendo t , t' le durate delle oscillazioni di due pendoli le cui lunghezze siano l , l' si avrà $t : t' = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g}} = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$, cioè i tempi delle oscillazioni come le radici delle lunghezze de' pendoli, nel caso di g costante.

Se in un tempo T un pendolo faccia un numero n di oscillazioni, è chiaro essere $t = \frac{T}{n}$, e se un altro pendolo in pari tempo ne faccia n' si avrà egualmente $t' = \frac{T}{n'}$, onde dovrà essere $t : t' = \frac{T}{n} : \frac{T}{n'} = n' : n$; ma si ha $t : t' = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$, dunque sarà $n' : n = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$, ovvero $n'^2 : n^2 = l : l'$, cioè le lunghezze de' pendoli in ragion reciproca del numero delle oscillazioni fatte nello stesso tempo. Laonde al variar della lunghezza del pendolo variar deve il numero delle oscillazioni nello stesso tempo.

Premesse tali cose si può meglio comprendere ciò che l' Autore ha detto nel capo precedente. È per fermo, nella formola $t = \sqrt{\frac{l}{g}}$, essendo note due delle

quantità t , l , g si potrà sempre conoscere la rimanente, onde se si sappia t , ed l , si avrà $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$. Il va-

lore di t si ha dal numero delle oscillazioni fatte in un tempo T , e prendendo il pendolo a secondi $t = 1$; e però sapendosi per la nostra latitudine la lunghezza del pendolo a secondi, si troverà facilmente il valore di $g = 9^m,8088$. Questo valore di g dinota la velocità che la gravità imprime a' gravi cadenti nel primo minuto secondo di tempo, e siccome dalle formole della gravità altrove esposte si ha $g = \frac{2s}{t^2}$, po-

sto $t = 1''$, ricavasi $s = \frac{g}{2} = 4^m,9044$, valore che corrisponde a piedi parigini 15,09 circa.

Dalla formola $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ apparisce, il valore di t dover variare al variare di g restando costante l , e dover variare al variare di l restando costante g . Ora risulta da osservazioni, che un pendolo della stessa lunghezza trasportato dall'equatore verso i poli accelera le sue oscillazioni, e che per renderle di egual durata conviene accrescer la lunghezza del pendolo; dunque si è potuto conchiudere che la gravità varia al variar della latitudine.

Se si paragonino le oscillazioni de' pendoli posti a diverse latitudini si avrà $t : t' = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g'}}$, e però se $t = t'$, sarà $g : g' = l : l'$; cioè l'efficacia della gravità come le lunghezze de' pendoli isocroni: e se $l = l'$ sarà $g : g' = t'^2 : t^2 = \frac{T^2}{n'^2} : \frac{T^2}{n^2} = n^2 : n'^2$, vale

a dire che se le lunghezze de' pendoli sono eguali, le forze della gravità sono nella ragione inversa de' quadrati delle durate delle oscillazioni, o come i quadrati de' numeri delle oscillazioni fatte in un dato tempo.

Le osservazioni poi che sonosi fatte in diverse latitudini della terra con l'aiuto della dottrina esposta han dimostrato , che indicando con g il valor medio della gravità cioè l'intensità di essa alla latitudine di 45° , la gravità g' di un altro luogo qualunque della latitudine L , è data dalla formola

$$g' = g (1 - 0,002837 \cos. 2 L).$$

III.

Ad intendere pienamente quanto l'Autore ha detto intorno alla dottrina de' pendoli rimane a sapere come si possa nel pendolo composto determinare il centro di oscillazione. E per maggior semplicità supponiamo che ne' punti M , M' dell'asta, immateriale FM si trovino i pesi φ , φ' (Tav: agg: fig. 20) ; se FM , FM' fossero due pendoli semplici distinti , è chiaro che le oscillazioni di φ in M sarebbero più lente di quelle di φ' in M' ; ma essendo φ , φ' uniti alla verga medesima FM , il tempo dell'oscillazione del pendolo composto dovrà essere la risultante de' tempi delle oscillazioni di φ , e φ' separati , ed essendo questi tempi espressi per le cose dette da $\sqrt{FM}$, $\sqrt{FM'}$, il tempo risultante dovrà essere espresso da $\sqrt{FH}$ maggiore di $\sqrt{FM'}$, minore di $\sqrt{FM}$, ed il pendolo semplice FH sarà isocrono al dato pendolo composto ; e però per conoscere il tempo dell'oscillazione di questo , basterà determinare la lunghezza FH di quello, cioè il *centro H di oscillazione* del pendolo composto. Or siccome il tempo $\sqrt{FH}$ è la risultante de' tempi $\sqrt{FM}$, $\sqrt{FM'}$, così l'oscillazione HL dee essere la risultante delle oscillazioni separate MD , $M'D'$, e però anche la forza in H per la quale si fa l'oscillazione HL deve essere la risultante delle forze in M , ed in M' , per le quali si farebbero le oscillazioni MD , $M'D'$.

Pongasi dunque $FH = x$, $FM = a$, $FM' = b$ e sarà $HM = a - x$, $HM' = x - b$; e poichè i pesi φ , φ' in un istante infinitesimo debbono percor-

rere due archetti simili i quali possono rappresentare le velocità, potendosi il moto vario, per un tempuscolo, considerare come uniforme, ed essendo tali archi perchè simili come i raggi, potremo prender questi per le velocità, ed in conseguenza le forze operanti ne' punti M, ed M' saranno espresse da φa , $\varphi' b$; ma la risultante di queste forze deve passare per H, dunque condotta per H la S V perpendicolare alle forze parallele M S, M' S', dovrà essere (1) $\varphi a \times H S = \varphi' b \times H S'$, ovvero $\varphi a : \varphi' b = H S' : H S$, ma dalla similitudine de' triangoli H S M, H S' M' si ha $H S' : H S = M' H : M H$, e mettendo in vece di queste ultime i valori trovati, si avrà $\varphi a : \varphi' b = x - b : a - x$, donde ricavasi $x = \frac{\varphi a^2 + \varphi' b^2}{\varphi a + \varphi' b}$, cioè la distanza dal centro di sospensione al centro di oscillazione si ha facendo la somma dei prodotti di ciascun peso per lo quadrato della rispettiva distanza dal centro di sospensione, e dividendola per la somma de' prodotti di ciascun peso per la semplice distanza dal centro medesimo.

Dalle cose dette apparisce, φa , $\varphi' b$ esprimere le forze, e φa^2 , $\varphi' b^2$ esprimere i momenti riferiti al centro F, e però può dirsi la distanza del centro di oscillazione dal centro di sospensione, essere eguale alla somma dei momenti delle forze, riferiti al centro di sospensione, divisa per la somma delle forze medesime.

IV.

Centro di percossa. — Per comprendere quello che vuolsi intendere con la espressione centro di percossa, è mestieri avvertire, che l'unione delle parti di un corpo che muovonsi con eguale o disuguale velocità, secondo che il moto è progressivo o rotatorio, può sempre considerarsi come un sistema di forze operanti, per lo stesso verso. E siccome un tal sistema aver deve

(1) V. nota al §. 21.

la sua risultante secondo una speciale direzione, perciò se questo dato corpo muovendosi s'imbatta in un ostacolo, è chiaro che l'urterà con diversa forza secondo che diverso è il punto con cui l'urta. Ponendo mente alla natura della risultante, non si durerà fatica ad intendere, che se il corpo urtasse l'ostacolo con quel punto per lo quale passa la risultante, darebbe il massimo urto. E però questo punto si è detto *centro di percossa o di percussione*.

Vuolsi prima di tutto avvertire non esser questo il punto intorno al quale si equilibrano tutti gli sforzi che fanno le diverse parti del corpo muovendosi, e però non doversi confondere col centro di gravità.

Nel caso però che il corpo abbia semplicemente un moto progressivo, siccome le particelle di esso sono spinte tutte da forze eguali e parallele, così la risultante di tutte queste passerà per lo centro di gravità il quale in questo caso confondesi col centro di percossa.

Ma supponiamo avere il corpo un moto rotatorio, e per maggiore semplicità sia lo stesso pendolo composto non ha guari considerato T M (Tav. agg. fig. 20), egli è chiaro per le cose innanzi dette φa , $\varphi' b$ esprimere le forze operanti in M, M', e siccome questa forze son parallele, essendone le direzioni tangenti alle circonferenze concentriche descritte da' punti M, M', la risultante sarà $\varphi a + \varphi' b$: e supposto H il centro di percossa, e posto $FH = z$; essendo il momento della risultante uguale alla somma de' momenti delle componenti, si avrà $z(\varphi a + \varphi' b) = \varphi a^2 + \varphi' b^2$, donde ricavasi $z = \frac{\varphi a^2 + \varphi' b^2}{\varphi a + \varphi' b}$, dal che rendesi aperta la coincidenza del centro di oscillazione con quello di percossa.

Da ultimo può ciascuno da se intendere, che applicandosi al centro di percossa una forza eguale e contraria alla risultante che passa per lo medesimo, si spegnerà ogni moto nel corpo rotante, senza che si comunichi alcuna spinta all'asse di rotazione.

Breve cenno sulle macchine.

I.

Generalmente col nome di *macchina* suolsi dinotare ogni strumento , che situato su di un punto di appoggio valga a trasmettere l' azione di una potenza sopra un corpo resistente posto fuori la direzione di essa , sia per comunicare o torre a questo un moto , o in qualunque maniera regolarne la velocità o la direzione.

In ogni macchina il fisico dève principalmente tre cose considerare; vale a dire, una potenza o forza motrice , una resistenza , ed un punto di appoggio comune ad entrambe.

Le diverse parti delle macchine furon diversamente classificate prima da Monge, e poi da altri, particolarmente dal Borgnis (1) , secondo il diverso fine cui sono ordinate , ma non dovendo io entrare in questi particolari , invio gli studiosi alle opere di costoro.

Forza o potenza dicesi tutto ciò che vale a produrre un moto , come l' urto istantaneo ripetuto , la pressione di un grave , di una molla , o di un animale. Ma quest' urto o questa pressione sia comunque ingenerata , sarà sempre una quantità di moto , e però il prodotto di una massa in una velocità. E siccome l' effetto di una forza applicata ad una macchina risultar deve dalla intensità della forza medesima , dalla velocità che ne' diversi casi può imprimerè alla resistenza , e dal tempo ; durante il quale essa opera , perciò è chiaro che l' effetto suddetto sarà espresso da FVT dicendo F la forza, V la velocità e T il tempo.

Nascendo poi la resistenza dalla somma di tutti gli ostacoli che nella macchina oppongonsi alla potenza , può essa esser considerata come una forza R opposta alla potenza , e però il suo effetto potrà parimenti

(1) *De la composition des Machines.*

esprimersi con $R V' T$, chiamando V' la velocità che potrebbe eccitare.

Lo ippomoclio o punto di appoggio sostiene la potenza e la resistenza che sono su di esso equilibrate, e però può esser riguardato come una forza opposta ed eguale alla risultante di esse.

Varie possono essere le potenze che si applicano alle macchine, e secondo la varietà di queste, variano anche le parti delle macchine ordinate a ricevere il moto, parti che nella classificazione fatta dal Borgnis son dette *organi ricevitori*, i quali il lodato scrittore ha divisi in cinque specie dipendenti dalle diverse potenze, essi son detti 1.^o ricevitori *zoodinamici* vale a dire a forza animale, 2.^o ricevitori *idrodinamici* o sia ad acqua, 3.^o ricevitori *termodinamici*, cioè a vapore, 4.^o *pneumadinamici*, che sono gli organi ricevitori de' mulini a vento, 5.^o finalmente ricevitori diversi che corrispondono ad altre potenze, quali sono la gravità, l'elasticità ec:

Di tutte queste diverse potenze i fisico-matematici han calcolate le intensità. Dell'acqua, del vapore e dell'elasticità si parlerà altrove, per cui diciamo qualche cosa intorno alle forze animali, sulle quali molte esperienze e molti calcoli sonosi fatti, per poterne valutare gli effetti.

Gli animali che più comunemente adopransi a muover le macchine essendo gli uomini ed i cavalli, così alla forza di questi specialmente si rivolsero i fisici, e s'ingegnarono segnatamente a determinare quale sia la forza, quale il momento statico di questi animali, e quale la fatica giornaliera di cui sono capaci.

Si è conosciuta la forza di un uomo in un conato di pochi istanti, mercè uno strumento detto *dinamometro*. Quello ideato da Regner (1), e col quale si son fatte nella scuola Politecnica di Parigi molte esperienze, è una molla curvata in ellisse lunga circa 0,3 di me-

(1) *V. Journal Polytech.* Cal. V.

tro in maniera che con quanta maggior forza si stringe secondo l'asse minore o si tiri secondo l'asse maggiore, tanto più si avvanza un indice sopra un lembo graduato. « I risultamenti di queste esperienze mostrano che il termine medio del massimo della forza degli uomini ordinari 1.^o nello stringere con le mani (operazione che meglio e più comodamente, riesce se le braccia si portino in avanti inchinandole ad angolo semiretto con la verticale) equivale a 50 chilogrammi; 2.^o nel sollevare verticalmente un peso, tenendo il corpo ben dritto, e solo incurvate un poco in avanti le spalle (ottima posizione) equivale a 130 chilogrammi; 3.^o nel tirare orizzontalmente mettendosi nella positura, in cui soglion mettersi quelli che tirano carrette o barche, corrisponde a 50 chilogrammi.

Alcuni uomini assai robusti, usando con arte della lor forza muscolare, fan cose maravigliose agli occhi del volgo. Il Desaguliers descrive e spiega molti di questi apparenti prodigi, ed alcuui se ne trovano anche spiegati nel T. I della scienza della nat. del P. della Torre. Non mancano però degli uomini che hanno da natura sortita una forza muscolare superiore all'ordinaria (1).

Dicesi poi *momento statico* il prodotto del peso che un animale è capace di sollevare per mezzo di una macchina ad un metro o altra unità di altezza in 1", o altra unità di tempo moltiplicato per la unità di velocità. Così se un uomo in 1" sollevi per mezzo di una macchina un peso di 34 chilogrammi all'altezza di un metro il momento statico di quest'uomo sarà 34×1 metro. Il momento statico adunque è la misura dell'azione dell'animale in 1". Bernulli, Borda ed altri fecer multiplici esperienze per conoscere il momento statico dell'uomo, ed ebber risultamenti diversi quantunque veri. La differenza nascea dalla varia ma-

(1) V. *Bibliot. Univers.* T. 39 p. 154.

niera con la quale nelle varie esperienze gli uomini si applicavano alle macchine, e particolarmente dall'angolo che il loro corpo facea con l'orizzonte. Avvedutosi di ciò il Lambert (1), si conobbe non potere una sola formola esser sufficiente ad esprimere il momento statico dell'uomo, e perciò il Prony (2) esibì delle formole con le quali si calcola questo momento secondo le varie posizioni del corpo.

Intorno alla fatica giornaliera degli animali due cose principalmente importa di conoscere.

1.° Quale sia la quantità di azione o l'intero effetto che un animale può produrre in un giorno senza sconcertarsi, o in altri termini qual peso può un animale sollevare in un giorno ad una determinata altezza.

2.° Data la fatica che un animale può durare in un giorno, come potrà conseguirsene il maggiore effetto, che si stimerà dal massimo peso che può sollevare ad una data altezza?

Daniele Bernulli supposea che in qualunque maniera un uomo lavori, o camminando o tirando, con macchina o senza, al medesimo grado di fatica, corrisponda sempre il medesimo effetto, o la medesima quantità di azione. In guisa che facendo comunque variare il peso, il tempo, e la velocità che sono gli elementi da' quali risulta la quantità di azione dell'uomo, se il loro prodotto sarà lo stesso, la stessa fatica dovrà l'uomo durare. La fatica di un giorno stimava doversi intendere di 7 in 8 ore, e fondandosi su questa ipotesi, calcolava la fatica giornaliera di un uomo addetto a qualsivoglia lavoro, per un peso di 172800 lib: francesi, inalzate ad un piede parigino di altezza (3). L'opinione del Bernulli fu accolta dall'universale, fino a che il Coulomb in una memoria letta all'Accademia

(1) *Mém: dell' Acc: di Berlino per l'anno 1776.*

(2) *Arch: Hydraul. Sect: V.*

(3) Vedasi la sua memoria, *sur la maniere de suppléer en mer à l'action du vent*, premiata dall'Accad: delle Scienze di Parigi per l'anno 1753.

Reale delle Scienze di Parigi non dimostrò, la fatica non esser sempre alla quantità di azione proporzionale, e potersi aumentarne l'effetto, senza accrescerla gran fatto, col variare opportunamente la specie del lavoro. È per fermo, un uomo il quale possa lavorar seduto comodamente, produrrà maggiore effetto, che se fosse in'altra più incomoda posizione. Se dopo aver per lungo tempo lavorato con le braccia, incominci a lavorare co' piedi che ha tenuti in riposo, l'effetto sarà maggiore di quello, che sarebbe stato se avesse dovuto continuare a lavolare con le braccia. Del resto la teoria del Bernulli tranne alcune eccezioni, può nella maggior parte dei casi aversi come vera.

Sulla forza e sul momento statico de' cavalli abbiamo alcune notizie poco precise. Si è creduto la forza del cavallo quintupla di quella dell' uomo, da altri si è reputata sestupla, e l'esperienze fatte col dinamometro di Regner l'han dimostrata sette volte maggiore, allorchè il cavallo è adoperato a tirare orizzontalmente. Il Sauveur ne stima lo sforzo medio in 1^a equivalente a circa 200 libbre francesi sollevate all'altezza di tre piedi parigini. Vuolsi però aver per certo che i cavalli vengono più utilmente adoperati a tirare che a trasportare, perciocchè questi tirando spingonsi innanzi, inclinano le gambe, e portano il petto verso la terra, onde adoperano non solo la forza muscolare, ma anche profittano del proprio peso. Ecco perchè come osserva anche il Borgnis, talvolta il cavallo avente l'uomo in sella, dimostra nel tiro una maggior forza.

Premesse tali cose, volendosi risolvere il secondo degli accennati problemi sulla giornaliera fatica degli animali, uopo è ricordarsi che l'effetto prodotto da un animale applicato ad una macchina, è sempre espresso per $F \cdot C \cdot T$, e però volendosi il massimo effetto conviene che questa espressione abbia il massimo valore. E però, uopo è che le direzioni della potenza e della resistenza siano, se è possibile, nello stesso piano; sian parallele, o facciano il minimo angolo, e la

direzione della potenza sia perpendicolare alla retta che unisce il punto di applicazione della resistenza con l'ippomoclio. Convien anche badare alla scelta della macchina, preferendo quella cui meglio si adatti la potenza della quale si dee usare; e fare per quanto è possibile che il peso della macchina coadiuvi la potenza. Da ultimo non minor cura convien che si ponga nell'evitare qualunque inutile dispersione di forze come gli urti non necessari, onde la pressione è spesso preferita alla percossa, i moti superflui ec. Dopo di aver procurato di dare alla potenza il massimo effetto, uopo è ingeguarci perchè minimo riesca quello della resistenza, il che si ottiene col diminuire, per quanto è in nostro potere, tutti gli ostacoli quali sono l'attrito, la rigidità delle corde, ed altri de' quali si parlerà più appresso.

Ma sia qualunque la forza, si usi in qualsivoglia maniera, l'effetto istantaneo sarà sempre lo stesso finchè essa non abbia sofferta alcuna alterazione; nè la meccanica co' suoi mezzi potrà mai renderlo maggiore senza aumentare la forza; *non permettendo la natura, al dir del Galileo, di esser superata, nè defraudata dall'arte.* Volendosi perciò aumentare l'effetto totale di una forza, non si presenta altro mezzo, che o di unirla ad altre forze cospiranti, o di aumentare il numero degl'istanti ne' quali essa opera conservandone gli effetti istantanei, il che appunto con le macchine si consegue.

Le forze sogliono applicarsi alle macchine o per ridurle in equilibrio o per averne un moto. Trattandosi dell'equilibrio può, è vero, una piccola forza stare a fronte di resistenza grandissima, e ridurre la macchina in equilibrio, ma questo effetto non è prodotto interamente dalla forza, perciocchè questa vince solo una porzione della resistenza, il rimanente essendo opera dell'ippomoclio e delle altre cagioni che son di ostacolo al moto come, per esempio l'attrito ec: le quali perciò *forze passive* furono chiamate. » Ed allorquando

» Archimede, dice il Gerbi, chiedeva un punto di appoggio per tenere in equilibrio con una macchina il cielo è la terra; contava ben più sulla forza di questo punto che sulla sua ». Ecco perchè nelle macchine in equilibrio, supposto nullo l'attrito ed ogni altra resistenza, è da considerare il punto di appoggio come una forza eguale ed opposta alla risultante della potenza e della resistenza.

Se si debban conoscere le condizioni di equilibrio di una macchina, basterà por mente alle forze ed al punto di appoggio. Ma se debbasi conoscere l'effetto delle macchine in moto è mestieri anche di tener conto delle velocità de' punti ove queste forze sono applicate. E per intendere di ciò la ragione uopo è osservare, che il moto prodotto da una potenza in una macchina, da prima accelerato, va diventando poi man mano uniforme, e ciò per varie ragioni 1.^o perchè l'energia della potenza può scemare; e per fermo, se questa è costituita da un animale, si va indebolendo con la continuazione della fatica, e se è l'elasticità, questa produr deve tanto meno effetto per quanto minore è la differenza tra la velocità del corpo urtante e quella dell'urtato: 2.^o può anche accadere, che crescendo l'azione della forza facciansi anche gli ostacoli maggiori, come avviene alle resistenze di mezzo. Sia per queste o per altre ragioni, la ragione delle due forze va approssimandosi a quella voluta per l'equilibrio, ed in tal caso le forze scambievolmente distruggendosi, la macchina si muove per lo moto acquistato, il quale per l'inerzia della materia restar suole uniforme (1).

Le due forze F , F' siano successivamente applicate a due punti diversi di una macchina, e diano alla resistenza della massa R le velocità V , V' , le quantità di moto che si produrranno, mentre la resistenza percorre lo spazio S per le due suddette forze, saranno eguali. Suppongasi infatti essere s lo spazio che la re-

(1) V. Boussut *Traité de Mec.* p. 2.

sistenza descrive in virtù della prima forza, con la velocità iniziale nel tempuscolo t , si avrà lo spazio che descrivesi nello stesso tempuscolo per effetto della seconda forza, facendo $V : V' = s : \frac{sV'}{V}$. Per le quantità di moto poi nella resistenza in detto minimo tempo si ha $RV : RV' = Rs : R \frac{sV'}{V}$.

Siano N , N' le somme degli spazietti elementari s , $\frac{sV'}{V}$ contenuti in S . Dopo percorsi tutti questi elementi ovvero lo spazio S , le quantità di moto saranno come $RNs : \frac{RN'sV'}{V}$. Ed essendo il numero delle parti in cui una quantità dividesi reciproco della grandezza di esse, perciò sarà $N : N' = \frac{sV'}{V} : s$, ed $N' = \frac{NV}{V'}$. Sostituendo questo valore di N' nell' antecedente ragione delle quantità di moto prodotte nel percorrere lo spazio S , si vedrà, che esse sono fra loro come $NRs : NRs$, cioè eguali.

Dovendo poi gli effetti delle forze F , F' prodotti sulla resistenza seguire la proporzione delle forze moltiplicate pe' tempi T , T' ne' quali operano, perciò si avrà $FT = F'T'$, vale a dire $F : F' = T' : T$, cioè i tempi spesi dalla resistenza a percorrere lo spazio S con le velocità comunicate dalle sopradette forze, sono in ragion reciproca delle intensità delle medesime.

Dal che segue, il tempo che si spende a far descrivere un dato spazio alla resistenza, esser tanto maggiore per quanto minore è la forza che si adopera. Laonde può in meccanica aversi per indubitato, che nelle macchine in moto si perde in tempo, ciò che si guadagna in forza. E però se Archimede avesse avuto in pronto una macchina con la quale, facendo uso della

propria forza, avesse voluto tentare di far passare la terra dell'equilibrio al moto, in un numero grandissimo di anni le avrebbe fatto appena percorrere brevissimo spazio.

Qual'è dunque il vantaggio che si ha dalle macchine? non quello di produrre grandi effetti con piccoli mezzi, ma sibbene quello di offrir mezzi più comodi, e di accumulare gli effetti istantanei della potenza i quali senza la macchina sarebber perduti. Gli effetti della potenza e della resistenza in ogni macchina sono espressi da due prodotti i cui fattori sono, come fu già avvertito, forza, tempo, e velocità: ora è chiaro potersi questi prodotti mantenere gli stessi variando in mille guise i fattori. Così può diminuirsi la forza con discapito di tempo, la velocità con discapito di forza. Ed ecco il potere delle macchine a che riducesi.

Affin di rendere più chiara questa verità illustriamola con un esempio. Se un uomo abbia una forza da potere innalzare un peso di 25 libbre all'altezza di 5 piedi in 1" di tempo, costui non potrà mai senza l'aiuto di una macchina elevare ad eguale altezza un peso maggiore, per esempio di 100 libbre, nè anche in tempo maggiore, perciocchè l'effetto che la sua forza produce in ogni minuto secondo, riman sempre dalla maggior resistenza distrutto. Ma quel che non può aversi per la immediata applicazione della forza, si ottiene mercè di una macchina, con la quale questi ripetuti piccoli effetti si accumulano, e si ripetono tante volte, fino a che la loro somma eguagli l'effetto totale che si deve produrre, cioè l'elevazione di 1000 libbre all'altezza di 5 piedi. Essendo l'effetto di una forza espresso da FVT , siccome non ha guari si disse, e nel caso presente $F=25$, $V=5$, $T=1''$, sarà $FVT=125$, ma questo effetto deve essere eguale a quello della resistenza espresso da $RV'T$, che nel caso nostro riducesi $1000V'$, essendo $R=1000$; dunque $125=1000V'$, e $V'=\frac{125}{1000}=\frac{1}{8}$. Dunque la

potenza in un secondo potrà sollevare la resistenza per $\frac{1}{8}$ di piede , e perchè questa sia portata all'altezza di 5 piedi , si dovrà per 40 volte ripetere la stessa azione. Una forza dunque = 25 produrrà in 40" quell'effetto che una forza = 1000 produrrebbe in 1". Ed essendo $1 : 40 = 25 : 1000$, segue, esser tanto maggiore il tempo per quanto la forza è minore.

Quello che si è detto per un minuto secondo , può dirsi egualmente per un istante più piccolo , per ispiegare come, per mezzo di una macchina, con una data forza si smuove in un istante una resistenza che non si sarebbe potuto smuovere con la immediata applicazione della forza medesima.

Premesse queste generali avvertenze intorno alle macchine, passiamo ad esporre le condizioni di equilibrio in ciascuna di esse. Ma conviene innanzi tratto rammentare la dottrina dell'equilibrio altrove esposta la quale ora si applica alle macchine , nelle quali la potenza e la resistenza son considerate come due forze che trovansi nello stesso piano, e debbon equilibrarsi intorno al punto fisso di appoggio , o intorno ad un asse che passi per questo punto perpendicolarmente al piano delle forze. Laonde la condizione necessaria per l'equilibrio di queste forze è, che la risultante di esse passi per l'anzidetto punto, talchè i loro momenti ad esso riferiti siano eguali ed opposti.

Le macchine si distinguono in semplici e composte. Le semplici sono la *leva* , o *vette* ; la *carrucola*, o *girella* ; l'*argano* o *asse nella ruota* ; il *piano inclinato* ; la *vite* , ed il *conio* , alle quali il Varignon aggiunse la *macchina funicolare*. Alcuni non considerano la vite ed il conio come macchine distinte dal piano inclinato, ed altri tutte le macchine semplici riducono alla leva.

II.

Della leva — Che cosa sia la leva ed in quanti generi si divida, fu altrove dall' Autore esposto. Non resta a far altro, che dimostrare le condizioni di equilibrio ne' tre generi di leve.

Nella leva la potenza e la resistenza son due forze che tendono a farla rotare per versi contrari, quindi si avrà in essa equilibrio se i momenti della potenza e della resistenza riferiti all'ipomoclio scambievolmente distruggonsi, o che val lo stesso, siano eguali, e però è chiaro dover essere la potenza alla resistenza in ragion reciproca delle rispettive braccia di leva.

Altri soglion dimostrare questa verità senza ricorrere a' momenti di rotazione; essi considerano la potenza e la resistenza come due masse, e le rispettive braccia come le velocità, e perchè quando le masse sono in ragion reciproca delle velocità le quantità di moto sono eguali, perciò essi conchiudono doversi nella leva avere equilibrio quando la potenza sta alla resistenza in reciproca ragione delle rispettive braccia di leva.

Ciò si dee intendere astrazion fatta dal peso della leva, che se essa si consideri come grave, il suo peso che diremo g deve esser considerato come una forza applicata al centro di gravità Q della leva medesima (Tav: agg: fig: 21), ed il suo momento $g \times QC$ si dee considerare come coadiuvante la potenza o la resistenza. Se la leva è di primo genere apparisce chiaro potersi l' uno o l' altro caso verificare, potendo cioè il centro di gravità della leva trovarsi tra A e C , come nella figura è segnato, ovvero tra C e B . Nel primo caso dal momento della potenza sottratto quello del peso della leva, il residuo dovrà essere eguale al momento della resistenza, affinchè si abbia l' equilibrio; nel secondo caso poi, il momento della potenza convien che sia eguale alla somma de' momenti della resistenza

e del peso della leva. Nella leva di secondo e terzo genere deve sempre il momento della potenza essere eguale alla somma de' momenti della resistenza e del peso della leva, perciocchè in questi casi la potenza è contrariata dal peso della leva. In queste considerazioni non si è compreso l'attrito, nè alcuni altri ostacoli de' quali si parlerà altrove. È mestieri avvertire che alle volte si fa uso di leve curve, e spesso le forze non son parallele ma inclinate ad angolo; in tali casi si sa da quel che si è innanzi detto, le braccia di leva esser le perpendicolari abbassate dall'ipomoclio sulle direzioni delle forze, come apparisce dalla dottrina de' momenti, e come può sempre rendersi aperto mercè le solite risoluzioni. Si noti finalmente che se il centro di gravità della leva coincida coll'ipomoclio, essa potrà esser considerata come priva di gravità.

Potendosi una retta dividere in modo che una parte serbi all'altra una ragione qualunque, facilmente intenderassi, con una leva di primo genere, almeno teoricamente, potersi, con una qualunque forza, superare una qualunque resistenza, onde Archimede in questo senso avea ragion di dire: *da ubi consistam et coelum terramque movebo.*

Nella leva di secondo genere, sempre una potenza minore equilibrerassi con una resistenza maggiore, e nel caso di moto, la potenza avrà sempre maggior velocità della resistenza, ovvero in questa leva si avrà risparmio di forza e perdita di tempo. Avviene poi perfettamente l'opposto nella leva di terzo genere, ove il braccio della resistenza è di quello della potenza necessariamente maggiore.

Nella leva di secondo genere il suo peso è sempre a scapito della potenza, per cui col fare questa leva più lunga mentre da una parte si favorisce la forza dall'altra si contraria, e però avvi sempre una certa lunghezza per la quale si ha il massimo vantaggio, alla determinazione della quale si perviene facilmente per mezzo del calcolo differenziale.

La bilancia della quale altrove si è parlato è una leva di primo genere, e dopo i principi esposti meglio si comprende quello che l'Autore ne ha detto (1).

La stadera o bilancia romana (Tav: agg: fig. 24) è anche una leva di primo genere. All'estremo A del braccio più corto si sospende il corpo che si vuol pesare, e sull'altro braccio FB si fa scorrere un peso P detto *marco* da alcuni meccanici, come dal Venturoli, da altri *romano*. Se la stadera scarica è equilibrata intorno all'ipomoclio F, si potrà considerare come priva di gravità, in altro caso converrà tener conto del suo momento. Sarà però sempre vero che ponendosi nella stadera dei pesi crescenti in progressione aritmetica, le braccia di leva del romano cresceranno del pari in progressione aritmetica, nel caso di equilibrio. (2). Tra le leve di primo genere vanno finalmente le forbici, le tanaglie, il martello allorchè si adopera per cavare i chiodi ec. Leve di secondo genere poi sono i remi, le imposte delle porte e delle finestre, le mascelle degli animali ec: son leve di terzo genere finalmente i pedali degli organi, le calcole dei telari, le stanghe onde mettonsi in moto le macchine degli arrotini, e le ossa degli animali co' loro muscoli i quali fanno da potenze operanti ad angoli molto acuti, in guisa che mentre servono a superar la resistenza stringono anche le ossa verso le rispettive giunture, accrescendo così la fermezza del sistema. Qualora si voglia

(1) Oltre del metodo del pesar doppio del quale ha parlato l'Autore per conoscere il peso vero con una bilancia falsa, avviene anche un altro. Sia m il corpo da pesarsi: pongasi questo in una delle coppe della bilancia, e supponiamo che si equilibri con un noto peso c posto nell'altra coppa, poi si metta in questo il peso m tolto c , ed in quello ove prima era m un altro noto peso c' che si equilibri nuovamente con m : dico la media proporzionale tra c e c' essere il peso vero. Imperciocchè chiamando a il braccio della bilancia corrispondente alla coppa nella quale si è posto il corpo m , e b l'altro braccio avremo, nel primo caso $bc = am$, e nel secondo $bm = ac'$, e quindi $bc : am = bm : ac'$, donde ricavasi $m^2 = cc'$, ed $m = \sqrt{cc'}$.

(2) V. Poinsoy *Elements de Statique*.

por mente alla natura della leva di terzo genere ed alla obblività di direzione de' muscoli, si comprenderà la forza de' medesimi dover essere grandissima.

I meccanici dalla dottrina della leva ricavano l'altra non meno importante della pressione su i sostegni, conosciuta la quale, essi procurano con l'aiuto della esperienza e del calcolo di valutare le resistenze de' solidi alla rottura ed allo schiacciamento; dalle quali considerazioni il Galileo ne dedusse » l'impossibilità » del potere non solamente l'arte ma la natura stessa » crescer le sue macchine a vastità immensa; sicchè » impossibile sarebbe il fabbricare navili, palazzi, o » templi vastissimi, li cui remi, antenne, travamenti, » catene di ferro, ed in somma le altre lor parti » consistessero; come anche non potrebbe la natura » fare alberi di smisurata grandezza, poichè i rami » loro gravati dal proprio peso finalmente si fiacche- » rebbero; e parimente sarebbe impossibile fare strut- » ture di ossa per uomini, cavalli, o altri animali, » che potessero sussistere, e far proporzionatamente » gli uffici loro; mentre tali animali si dovessero au- » gumentare ad altezze immense; se già non si togliesse » materia molto più dura e resistente della consueta, » o non si deformassero tali ossi sproporzionatamente » ingrossandoli, onde poi la figura ed aspetto dell'a- » nimale ne riuscisse mostruosamente grosso (1).

Non vo' lasciare finalmente di avvertire che co' principi finora esposti si posson conoscere le condizioni di equilibrio anche in un sistema di leve. Prendiamo per esempio la stadera composta (Tav: agg: fig: 25) la quale è formata da due leve, delle quali AD è di primo genere ed FE di secondo. Dicasi P la potenza R la resistenza, ed x la forza che fa la prima leva sulla estremità della seconda ove fa da potenza: siano a , a' le braccia corrispondenti alle potenze, e b , b' quelle corrispondenti alle resistenze; sarà $P a = b x$,

ed $a'x = b'R$, donde $P aa' = Rbb'$ ovvero $P : R = bb' : aa'$. Quindi se $a = 6$, $a' = 8$, $b = 1$, $b' = 1$, sarà $bb' = 1$, $aa' = 48$, onde una libbra, per esempio, sarà in equilibrio con 48.

III.

Della carrucola, o girella. — La carrucola è un cilindro di piccola altezza avente nella superficie convessa una scanalatura, in cui si pone una fune tirando la quale esso gira intorno al proprio asse. Se la carrucola mentre opera ha fisso il centro, dicesi *fissa*, dicesi poi *mobile* se è trasportata dall'azione della potenza o della resistenza.

La carrucola fissa riducesi, come è chiaro da se, ad una leva di primo genere nella quale le braccia della potenza e della resistenza sono eguali, per cui questa macchina è utile solo a diriggere la forza. Ma la cosa è diversa nella girella mobile.

Sia TMNP una fune la quale essendo fissa nel punto T avvolgasi alla carrucola mobile MNQ (Tav: agg: fig. 26), e la resistenza R sia appesa al centro C della carrucola per mezzo di una cassetta rappresentata dalla linea CR che ne dinota anche la direzione, siccome la parte NP della fune esprime quella della potenza che supponesi applicata in P.

La potenza tende a far girare la carrucola secondo NP, intorno al punto di appoggio T la cui azione si riporta in M, mentre la resistenza tende a far rotare la carrucola intorno al punto medesimo, ma per verso contrario, cioè secondo CR. Nel caso di equilibrio dunque convien che i momenti della potenza e della resistenza riferiti al punto M siano eguali. Dal centro C della carrucola intendasi menate le CN, CM a' punti ove la fune si stacca dalla medesima (si considera per semplicità la carrucola come un cerchio), poi si tiri la corda MN la quale resterà divisa per metà dalla CR. Finalmente dal punto M si abbassi la ME per-

pendicolare sulla direzione di P e questa rappresenterà la distanza della forza P dal centro M de' momenti. Laonde per l'equilibrio dovrà essere $P \cdot ME = R \cdot MI$, o sia $P : R = MI : ME$. Or pe' triangoli simili CMI , EMN si ha $MI : ME = MC : MN$, dunque sarà $P : R = MC : MN$; cioè nella carrucola mobile in equilibrio uopo è che stia la potenza alla resistenza come il raggio della carrucola sta alla corda che unisce i due punti, ne' quali la fune da quella si scosta. Segue da ciò, che se la corda è uguale al raggio vale a dire se l'arco MN è di 60° , la potenza non ha alcun vantaggio sulla resistenza, e se la corda è minore del raggio v' ha perdita di forza. Ma se i due capi di fune sian paralleli talchè sian tangenti agli estremi del diametro, avendosi la corda eguale al diametro si avrà $P : R = 1 : 2$, ed è questo il massimo risparmio di forza che aver si possa con la carrucola mobile. Nel ragionamento antecedente si è fatta astrazione dal peso della carrucola, il quale è da considerare come un aumento di resistenza, siccome di leggieri s'intende.

Sogliono spesso unire molte carrucole in un sistema che suol dirsi *taglia*, e da taluni anche *polispasto*.

Prendiamo in disamina il sistema di carrucole mobili A , A' , A'' (Tav: agg: fig: 27).

La prima A sostiene la resistenza R , ed è afferrata da una fune che con un capo è fermata in F , essendo l'altro congiunto alla cassa della seconda carrucola A' : questa seconda carrucola è del pari tenuta da una fune fermata con un capo in F' e con l'altro ligata alla cassa della terza carrucola, e così continuando fino all'ultima, la fune della quale essendo anche con un capo fermata in F'' , è tratta dall'altro dalla potenza P .

Se tutto il sistema è in equilibrio lo sarà ogni carrucola mercè le forze o *tensioni* che operano su di essa. Onde chiamando r , r' , r'' i rispettivi raggi di ciascuna carrucola, c , c' , c'' le corde degli archi afferrati dalle funi, ed X la tensione della prima fune

Y quella della seconda, si avrà per l'equilibrio della carrucola A

$$X : R = r : c$$

similmente per l'equilibrio di A'

$$Y : X = r' : c',$$

e per quello di A''

$$P : Y = r'' : c''$$

e quindi

$$P : R = rr'r'' : cc'c''$$

vale a dire la potenza alla resistenza come il prodotto de' raggi delle carrucole a quello delle corde che sostengono gli archi afferrati dalle funi.

Se tutte le funi fosser parallele, come nella fig. 28 (Tav: agg:), tutte le corde diverrebbero eguali a' diametri $2r$, $2r'$, $2r''$ e quindi avrebbesi

$$P : R = 1 : 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot,$$

e per un numero n di carrucole

$$P : R = 1 : 2^n;$$

cioè in questo sistema si ha equilibrio quando la potenza sta alla resistenza, come uno sta alla potenza di due dinotata dal numero delle carrucole. La carrucola S però non deve esser computata come quella che essendo fissa suolsi adoperare per poter più comodamente applicare la forza al sistema. Questa da taluni è detta carrucola di *rimando*.

Un'altra maniera di taglia è rappresentata dalla figura 29 (Tav: agg:). Qui, come si vede, ad ogni carrucola mobile ne corrisponde un'altra fissa, ed una sola fune passa per tutte le carrucole del sistema. Supponiamo, come per lo più suole avvenire, che le corde sian parallele, si avrà, per l'equilibrio, la potenza alla resistenza come uno sta al numero delle funi che tengon sospese le carrucole mobili, cioè nel caso della

figura, come 1:6; perciocchè essendo tutte le carrucole tenute da una sola fune e dovendo essere ciascuna in equilibrio, tutt' i capi della fune dovranno essere egualmente tesi. Si può dunque considerare il peso R come sostenuto da tante forze eguali e parallele per quanti sono i capi di fune che vanno dalle girelle mobili alle fisse, e però la tensione di uno di questi capi, o la potenza P dovrà stare al peso R come l'unità sta al numero de' capi di fune appartenenti alle carrucole mobili (1).

Si possono in varie maniere disporre le taglie, ma la maniera di valutare l'equilibrio può sempre ridursi ad una delle due precedenti.

La carrucola essendo di un uso assai frequente nelle arti, così molti sonosi adoperati mercè l'esperienza a conoscere quali dimensioni meglio le convengano, in qual modo debba esser fatta per riuscire più comoda, e dar meno attrito, e quale sia lo sforzo di cui è capace secondo la diversa materia onde è formata (2).

IV.

Asse nella ruota. — Questa macchina è composta di una ruota e di un cilindro *da*, che hanno l'asse comune (Tav: 1 fig: 19). Invece della ruota vi può essere un manubrio, o alcune aste confitte nel cilindro (Fig: 20), o un tamburo capace di contenere animali. La potenza si applica alla circonferenza della ruota o agli estremi delle aste o manubri, e così il cilindro girando avvolge intorno di sè una fune, innalzando un peso. È chiaro, i momenti della potenza e della resistenza riferirsi allo stesso asse e questi dover essere eguali, se l'una stia all'altra come il raggio del cilindro a quello della ruota, talchè se il cilindro abbia per raggio un pollice e la ruota 10, si avrà l'equilibrio tra

(1) V. *Elemens de statique*, par L. Painsot p. 203.

(2) V. Cavalieri — Rondelet.

una libbra di potenza e 10 di resistenza. Onde è chiaro aversi maggior risparmio di forza aumentando il raggio della ruota o accorciando quello del cilindro.

Suppongo in questa macchina la potenza e la resistenza aver le direzioni in piani perpendicolari all'asse del cilindro, e perciò parallele tra loro, che se ciò non fosse converrà risolverle rispettivamente in due, una perpendicolare l'altra parallela al detto asse. In tal caso siccome la parte parallela per nulla contribuisce alla rotazione del cilindro, così per l'equilibrio è mestieri solo tener conto della perpendicolare. Suppongo di più esser le direzioni delle due forze suddette tangenti alla ruota ed al cilindro, perciocchè se fossero in vece seganti, risolvendone ciascuna in due, una perpendicolare a' raggi rispettivi della ruota e del cilindro, l'altra nella direzione di essi, si vedrebbe chiaro doversi solo tener conto delle prime nello stabilire le condizioni di equilibrio.

Quando la ruota è verticale ed orizzontale l'asse, la macchina suolsi chiamare *burbera* (Fig: 19); *argano* poi dicesi se l'asse è verticale (Fig: 20). Quando questa macchina è in piccole dimensioni sia isolata sia facendo parte di altra macchina prende ordinariamente nelle arti altro nome come quello di *verrocchio*, *verricello* ec.

Molte di queste macchine possono unirsi in sistema, ed allora le ruote sono *dentate* ed i cilindri hanno anch'essi de'denti, *pinne*, o *ali*, in guisa che i denti della ruote s'immettono in quelli de' rocchetti. Molte sono le combinazioni che possono ricevere le ruote dentate trasmettendosi così il moto dall'una nell'altra, e facile riesce il conoscere le condizioni di equilibrio, perciocchè si comprende la potenza dovere stare alla resistenza come il prodotto de' raggi de' rocchetti a quello de' raggi delle ruote.

Se il peso R discende facendo girare il sistema rappresentato dalla figura 30 (Tav: agg:), occorre spesso di sapere quanti giri farà l'ultima ruota C nel tempo che la ruota A ne compie uno. Questa cognizione di-

pende da quella del numero dei denti di ciascuna ruota A, B ; e delle *pinne* o ali di ciascun rocchetto b, c . Non si tien conto nè dell'ultima ruota, nè del primo rocchetto, perchè questi non son dentati, o almeno nulla monta che lo siano.

Siano A, B i numeri de' denti delle ruote A, B , e b, c i numeri delle pinne de' rocchetti b, c . E mentre la ruota A fa N giri, supponiamo che il rocchetto b con la sua ruota B ne faccia N' , ed il rocchetto c con la sua ruota C ne faccia N'' . È manifesto che quanto una ruota ha più denti che non ha pinne il rocchetto contiguo tanto meno giri farà nello stesso tempo la prima, che non fa il secondo. Sarà dunque

$$A : b = N' : N ; \text{ e } B : c = N'' : N'$$

e però $AB : bc = N'N'' : NN'$, e dividendo l'antecedente ed il conseguente dell'ultima ragione per N' si avrà $N : N'' = bc : AB$. Facciamo che le due ruote abbiano 24 denti per ognuna, e sei pinne ogni rocchetto essendo $N = 1$, avremo $1 : N'' = 36 : 576$, donde si ha $N'' = 16$ cioè mentre la ruota A fa un solo giro, l'altra C ne farà 16.

V.

Del piano inclinato. Questa macchina non ha bisogno di definizione essendo bene indicata dal nome. Se un corpo si voglia tenere in equilibrio su di un piano inclinato, egli è manifesto da quanto si disse altrove, che converrà vincere la gravità relativa, per cui supponendo la direzione della forza parallela al piano, ed applicata al centro di gravità del corpo e non teneudo conto veruno dell'attrito, si avrà l'equilibrio se la potenza stia al peso del corpo, come l'altezza del piano alla lunghezza del medesimo, o come il seno dell'angolo di elevazione sta al raggio. Nel caso poi che la direzione della potenza sia inclinata comunque al piano, si hanno alcune formole facili ad intendere col solo aiuto della trigonometria.

* Suppongasi infatti essere OP (Tav. agg. fig. 3r)

la direzione della potenza che chiamo P , ed Ol quella della gravità che chiamo Q : dicasi m l'angolo che il piano fa con la verticale ed n quello della OP col medesimo. Supposta Og la intensità di P ed ol quella di Q : si risolva ciascuna di queste forze in due, una perpendicolare l'altra parallela al piano. Sarà facile il vedere essere l'angolo $fOg = OBA = n$, e l'angolo $Olh = ABC = m$. Essendo poi nel triangolo rettangolo Ofg , $Og : Of = 1 : \cos.fOg$, ovvero $P : Of = 1 : \cos.n$, sarà $Of = P \cos.n$; in simil guisa si troverà $Op = Q \cos.m$, e si troveranno anche i valori delle forze perpendicolari al piano espressi da $P \sin.n$ e $Q \sin.m$. Queste ultime dovranno esser distrutte dalla resistenza del piano il quale sarà perciò premuto con forza $= P \sin.n + Q \sin.m$; ma le prime nel caso di equilibrio dovranno egualmente distruggersi fra loro; dovrà perciò essere $P \cos.n = Q \cos.m$, ovvero $P : Q = \cos.m : \cos.n$. Allorchè OB è parallela ad AC , l'angolo OBC diviene retto, e gli angoli m , ed n sono l'uno complemento dell'altro, per cui si avrà $P : Q = \sin.n : \sin.m = BC : AC$: cioè nel caso della potenza operante in direzione orizzontale si avrà l'equilibrio, se stia la potenza alla resistenza, come l'altezza del piano alla base del medesimo; o come il seno al coseno dell'angolo di elevazione del piano dall'orizzonte.

Se poi si avverasse il caso di OP parallela ad AB allora l'angolo n divenendo zero sarà $\cos.n = 1$ onde si avrà $P : Q = \cos.m : 1 = \sin.A : 1 = BC : AB$, siccome da prima si è dimostrato.

VI.

Della vite. La teorica del piano inclinato può servire di guida per la determinazione delle condizioni di equilibrio nella vite, della quale è mestieri formarsi prima una giusta idea.

» Dicesi *elica* o *elice* una curva descritta sulla superficie di un cilindro retto con inclinazione co-

» stante al lato del cilindro. La distanza fra due punti
 » consecutivi dell' elice presi sullo stesso lato , dicesi
 » *passo dell' elice*.

Sia il cilindro retto ABCD (Tav. agg. fig. 31),
 la sua superficie si consideri sviluppata su di un pia-
 no : lo sviluppo sarà un rettangolo BEMC la cui ba-
 se BE. è eguale in lunghezza alla circonferenza del ci-
 lindro e si può esprimere con $2\pi r$, chiamando r il
 raggio del cilindro e π la ragione del diametro alla
 circonferenza.

Si divida il lato BC in parti eguali BR, RQ,
 QP ec., e presa sopra EM la parte $EG = BR$ si tiri
 BG , e le parallele RH, QK ec.

Se si avvolge il rettangolo BEMC sul cilindro, la
 serie delle rette BG, RH ec., segnerà sulla superficie
 curva del medesimo la curva che si è poco fa defini-
 ta , la quale cominciando da B andrà a finire in R ,
 dove sarà continuata dalla seconda retta RH e così
 procedendo innanzi.

Supponiamo il punto a premuto sull' elica da
 una forza verticale p e rattenuto in pari tempo da una
 forza orizzontale f che applicata tangente al cilindro vieti
 ad un cotal punto di scendere per l' elica, si avrà per le
 cose innanzi discorse $f : p = HK : QH$, ovvero $f : p =$
 $h : 2\pi r$.

Si meni per lo punto a la retta orizzontale ao ,
 la quale incontri in o l'asse del cilindro che suppon-
 go fisso. Si prolunghi questa retta indefinitamente , e
 si consideri come una leva inflessibile che possa rota-
 re intorno al punto o .

In vece di applicare immediatamente al punto a
 una forza orizzontale f per tener fermo il punto sul-
 l' elica , si potrebbe in un punto qualunque della le-
 va bo applicare un'altra forza q parallela ad f , la
 quale producesse sul punto a quello stesso effetto che
 la sopraddetta forza f vi avrebbe prodotto , e ciò si
 otterrebbe col fare che queste forze serbassero la re-
 ciproca ragione delle corrispondenti braccia di leva, che

sono bo , ed ao : posto dunque $bo = R$, ed essendo $ao = r$, si avrà la giusta sostituzione ponendo

$$q : f = r : R ;$$

ma si ha pure $f : p = h : 2\pi r$:

dunque moltiplicando per ordine si avrà

$$q : p = h : 2\pi R ;$$

vale a dire, che la potenza orizzontale q starà alla forza verticale p che preme il punto sull'elica, come il passo dell'elica sta alla circonferenza che descrivereb-
besi dalla potenza q intorno all'asse del cilindro.

Vuolsi intanto, prima di procedere oltre, avvertire, che nell'ultima analogia testè ottenuta non entra affatto r , onde la verità esposta ha il suo pieno effetto sia quale si voglia il raggio del cilindro.

» Premesse tali cose, uopo è sapere altro non es-
» sere la vite, che un cilindro retto guernito di un ri-
» salto avente per asse un elica. Essa si aggira entro
» un cilindro stabile che dicesi *madrevite*, avente un
» incavo spirale che corrisponde al risalto della vite:
» La potenza per mezzo di un manubrio tiene in e-
» quilibrio la vite, gravata nella cima di un peso, la
» quale tende a discendere, ravvolgendosi per le spi-
» re della madrevite.

Talvolta la vite è ferma, e la madrevite è mo-
bile, nel qual caso la potenza e la resistenza si ap-
plicano alla madrevite. Sia per altro che muovasi l'una
o l'altra, le condizioni di equilibrio sono le stesse. Sup-
poniamo, per fissar le idee, che sia mobile la madrevi-
te M (Tav. agg. fig. 32). Se la madrevite poggiasse
con un sol punto sull'elica della vite, si avrebbe per
le cose dette

$$P : Q = h : 2\pi R ,$$

chiamando R il braccio di leva della potenza, e Q il peso.

Ma sia quale si voglia il numero de' punti ne' quali
POUILLET Vol. I.

la madre vite preme l' elica della vite , si potrà considerare la resistenza R come decomposta in altrettante forze parallele s, s', s'' ec. prementi in diversi punti , e la potenza P distribuita in altrettante forze elementari t, t', t'' ec. ciascuna delle quali si equilibra con ciascuna delle s, s', s'' ec. onde si avrà

$$\begin{aligned} t : s &= h : 2\pi R \\ t' : s' &= h : 2\pi R \\ t'' : s'' &= h : 2\pi R \end{aligned}$$

e quindi $t + t' + t''$ ec. ovvero $P : s + s' + s''$ ec. ovvero $Q = h : 2\pi R$; vale a dire, nella vite in equilibrio, la potenza sta alla resistenza , come il passo della vite sta alla periferia che descriverebbesi dalla potenza. Laonde nella vite, richiedesi per l'equilibrio tanta minor forza per quanto minore ne è il passo.

Se la diminuzione del passo della vite fa diminuire la forza necessaria all'equilibrio , fa aumentare la pressione della resistenza su i pani. Onde se la potenza riducesi picciolissima , la pressione su i pani si rende quasi eguale al peso assoluto della resistenza. E però potrebbe succedere che esercitandosi la pressione in pochi punti , il peso essendo notabile , ed i pani non molto resistenti, alla fine questi si rompersero. Giova perciò fare che la madre vite abbia molti giri , e muovasi essa piuttosto che la vite.

Se invece della madre vite si abbia una ruota dentata girevole intorno del suo asse entro i denti della quale scorrano i pani della vite che si fa girare mercè un manubrio, si ha una macchina detta *vite perpetua*, la quale può considerarsi come composta dell'asse nella ruota e della vite. Si comprenderà facilmente aversi in questa macchina l'equilibrio, se la potenza stia alla resistenza , come il prodotto del passo della vite nel raggio del cilindro, al prodotto del passo della vite nel raggio della ruota nella periferia che ha per raggio la distanza della potenza dall'asse della vite.

Avvertasi finalmente, che taluni fisici considerando

la velocità della potenza come espressa dalla periferia che essa descriverebbe, e quella della resistenza dall'ampiezza del passo, qualora si passasse dall'equilibrio al moto, conchiudono la verità di sopra dimostrata per l'equilibrio della vite.

VII.

Del conio. — Il conio è un prisma triangolare, che si conficca nella massa di un corpo per separarne le parti. La potenza si applica sulla base del conio, perciocchè d'ordinario il conio s'introduce nel corpo dando de' colpi sulla base.

Supponiamo la direzione della potenza esser perpendicolare alla base o *testa* del conio rappresentato in profilo dalla figura 33 (Tav: agg:). Dal punto A preso sulla direzione della potenza, si tirino le AB, AC perpendicolari ad MO ed ON, e presa AD che rappresenti in intensità e direzione la potenza, si compia il parallelogrammo ABCD; si scorge chiaramente esser la potenza P risolta nelle due AC, AB le quali dinotano gli sforzi prodotti contro la resistenza, onde si avrà

$$P : Q : R = AD : AB : AC,$$

ovvero

$$P : Q : R = AD : AB : BD,$$

cioè come i tre lati del triangolo ABD, il quale essendo simile all'altro MNO che rappresenta la sezione del conio, si avrà finalmente

$$P : Q : R = MN : MO : NO;$$

vale a dire che la potenza essendo espressa dalla base del conio, le due forze che ne risultano perpendicolari a' lati, sono espresse da questi medesimi lati.

• Donde apparisce che in pari altezza quanto più acuto sarà il conio, tanto avrà maggior forza.

VIII.

Dalla combinazione delle macchine semplici delle quali si è parlato finora, nascono molte macchine che diconsi perciò composte, nelle quali non riuscirà difficile a conoscere le condizioni di equilibrio, qualora si sappiano quelle delle macchine semplici, onde esse risultano; gli esempi della stadera composta, delle ruote dentate, de' sistemi di carrucole di sopra recati, possono esser sufficienti ad indicare la maniera di calcolare le condizioni di equilibrio in ogni altra macchina composta.

Non ho parlato della macchina funicolare, perchè la determinazione delle condizioni di equilibrio in questa macchina, con le importanti dottrine che ne dipendono avrebbe potuto recare qualche difficoltà a' giovani non avvezzi al linguaggio della meccanica.

Volendo far passare le macchine dell'equilibrio al moto, pare che non si dovesse fare altro, che dare un piccolo aumento alla potenza stimata capace di mettersi in equilibrio con la resistenza, ma ciò sarebbe vero prescindendo dagli ostacoli che si oppongono al moto delle macchine; per la qual cosa nella pratica si distingue l'equilibrio di una macchina, dal suo *stato prossimo al moto*, per rinvenire il quale è mestieri conoscere gli ostacoli da superare, e la potenza necessaria a superarli. Quindi non sarà inopportuna cosa il parlar brevemente di tali ostacoli.

IX.

Dell'attrito. — Essendo tutt' i corpi porosi, le superficie le più levigate debbono avere delle prominente e delle cavità, e quando un corpo è sovrapposto ad un altro, lo preme per effetto della gravità, e quindi le punte o prominente dell' uno s' insinuano dentro le cavità o pori dell' altro, e tanto più quanto più grande è la pressione o il tempo in cui si esercita, fino a che non siano arrivate a quel massimo di profondità, che

non è possibile di oltrepassare, per aumentar di tempo o di pressione. Segue da ciò, che un corpo non potrà muoversi sopra di un altro senza che tali punti si rompano o si pieghino, nel caso che l'uno strisci sull' altro, o si sollevino e si distrighino nel caso che l' un sull' altro rotoli. Si aggiunga a tuttociò quella maniera di attrazione che in vario grado manifestar si suole allorchè due superficie si toccano, e che perciò da alcuni fisici *attrazione di contatto* venne chiamata, e s' intenderà di leggieri, dover nascere un ritardo al moto di un corpo che si muove sopra di un altro ; ed ecco quel che da' meccanici fu detto *attrito*. Mentre l' attrito suol tornare sovente utilissimo, potendo per esso reggerci e camminare sul terreno alquanto inclinato *ed aver fermo il piede più basso*, far uso delle seghe delle lime e di altri similgianti strumenti nelle arti, pure esso suol riuscire assai dannoso logorando le diverse parti delle macchine, ed inducendo in gravi e dispendiosi errori gli artisti che non sanno, o non possono valutarne gli effetti, spesso indeterminati e non soggetti a calcolo rigoroso e generale.

Si è avuta somma cura da' meccanici di trovar modo onde torre o scemare l' attrito, e quindi si è procurato di fare le superficie che debbono confricarsi levigate al maggior grado possibile, far che si confricassero sempre corpi di natura diversa, affm di scemare l' attrazione di contatto, e finalmente spalmandoli con materie dalla esperienza consigliate più opportune. Del resto, sia che questi rimedi non valgono a rimuovere del tutto le cause dell' attrito che ci son note, sia che altre ignote ve ne siano, non v' ha finora alcun mezzo, nè saprei dire se possa esservene in avvenire, per lo quale si possa l' attrito interamente distruggere, ed incominciare a vedere come possibile in pratica il moto perpetuo, oggetto di molti deliramenti. Ma se non si può distruggere interamente l' attrito, utilissima cosa è il saperlo con la maggior possibile esattezza calcolare in ogni macchina, per considerarlo come un aumento di resistenza da superare.

I meccanici considerano l'attrito in tre casi differenti. 1°. Quando un corpo striscia su di un' altro ; 2°. quando ruzzola ; 3°. quando una superficie convessa gira in una concava. Diversa è la maniera di fare l'esperienza per valutare l'attrito in questi differenti casi, ma tutte hanno per oggetto di conoscere la ragione dell'attrito alla pressione la quale detta n , e Q la pressione sarà nQ l'attrito : n dicesi il *coefficiente* dell'attrito che deve esser dato dall'esperienza.

Dalle sperienze del Ximenes, e del Coulomb risulta.

1°. Che , poste tutte le altre cose eguali, l'attrito è proporzionale alla pressione , tranne qualche anomalia ne' casi di pressione fortissima.

2°. L'attrito varia secondo la qualità delle superficie. Ma sia qualunque l'ampiezza della superficie si ha pe' legni nuovi benchè piallati $n = \frac{1}{2}$, nel distac-

co , $n = \frac{1}{3}$ pe' legni logori ; $n = \frac{1}{4}$ fra metalli, ed $n = \frac{1}{5}$ fra legni e metalli. In generale però quando le superficie sonosi per lungo tempo confricate l'attrito si scema di molto.

3°. Affinchè l'attrito giunga al massimo è mestieri che i corpi si tocchino per qualche tempo : questo tempo è brevissimo ne' metalli , riducesi a qualche minuto ne' legni , e si estende a qualche giorno ne' legni sopraposti a' metalli.

4°. L'attrito de' corpi in moto è minore di quello che ha luogo nel primo distacco , o nel passaggio dalla quiete al moto ; ma questa differenza non è eguale per tutti i corpi. Ne' legni si ha $n = \frac{1}{8}$; tra legni, e metalli si ha $n = \frac{1}{12}$, se il moto sia lento e continuo. L'attrito di questa natura è costante tra legni e legni, tra metalli e metalli, ma tra legni e metalli varia al variare delle velocità.

L'attrito poi della seconda maniera di sopra indicata, si è conosciuto, mercè l'esperienza, essere piccolissimo in paragone di quello della prima, e trattandosi di un cilindro che ruzzoli su di un piano, essere, poste le altre cose eguali, in ragione inversa del diametro, e finalmente rimaner ben poco diminuito dalle materie untuose, che molto giovano a minorare la prima maniera di attrito.

Si è conosciuto finalmente l'attrito dell'ultima specie essere anche minore di quello della prima, e ciò forse accade perchè le superficie che si confricano essendo sempre le stesse, le loro punte piegate una volta o rotte presentano in avvenire minore impedimento alla continuazione del moto. Si è conosciuto anche il valore di n per diversi casi, come per esempio $n = \frac{1}{7}$, nel caso di ferro e rame.

X.

Rigidezza delle funi. — Non solo l'attrito, ma anche la rigidezza delle funi fa nascer disparità tra la teoria astratta delle macchine, e la pratica. Nè nien dell'attrito difficile riesce il conoscere con esattezza il valore di quest'altra forza passiva.

Se per esempio con l'aiuto di una macchina debbasi innalzare un peso legato ad una fune la quale si debba avvolgere intorno ad un cilindro; ognun comprende che se questa non è perfettamente flessibile, oltre al consumare una certa forza della potenza nel piegarsi, rimane sempre alcun poco discosta dalla superficie del cilindro, accrescendo così il momento della resistenza, e perciò sarà mestieri di una potenza maggiore per innalzare il sopradetto peso. Molte sono le cause per le quali può variare la rigidezza delle funi per cui non si possono dare regole certe, come per esempio la diversa materia e tortura, lo stato dell'atmosfera ec.

Generalmente poi può aversi come vero, esser maggiore la rigidezza 1°. se maggiore ne sia la tensione, 2°. più grosso il diametro, 3°. più piccolo il diametro del cilindro attorno al quale si deve avvolgere la fune. Donde i meccanici han dedotto, la rigidezza di una fune, essere in ragione composta della diretta di una potenza del suo raggio, che ha per esponente 1,7 nelle nuove e nelle impeciate, e 1,4 nelle molto usate, e del peso che la tende, e della inversa del raggio del cilindro cui si avvolge.

Da quello che si è detto fin qui apparisce chiaramente perchè alcuni meccanici abbian dato per regola, » che la forza bastante all' equilibrio in una macchina » non produce per ordinario il moto, se non si aumenti del terzo di se stessa, cosicchè se per l' equilibrio abbisogna una forza F , bisognerà pel moto una » forza $= \frac{4}{3} F$.

Si avverta finalmente, che accresciuta la potenza fino a porre la macchina in moto, siccome alla potenza opponesi la resistenza con tutte le forze passive, così bisogna che l' azione della potenza sia continua, perchè continuo sia il moto della macchina. La potenza dunque si può considerare come una forza acceleratrice. Or se questa forza fosse costante, e costante anche la resistenza l' una e l' altra con moto uniformemente accelerato muoverebbonsi. Ma sia che varii la potenza infievolendosi come per lo più addivien, sia che varii la resistenza, restando la potenza costante, non avrà più luogo l' accelerazione, ed il moto della macchina andrà presto a rendersi uniforme, siccome dall' esperienza è comprovato.

CAPO V.

Dell' Idrostatica.

55. L' idrostatica ha per obbietto di determinare le condizioni di equilibrio de' liquidi , e le pressioni che questi producono sulle pareti de' vasi che li contengono.

Le proprietà de' liquidi dipendono da due forze ; dalla gravità che opera sopra di essi come sopra di ogni altro corpo , e dall' attrazione molecolare , che opera su i medesimi in una maniera speciale per tenerli nello stato liquido. Possiamo col pensiero distinguere gli effetti dovuti a ciascuna di coteste forze ; perciocchè possiamo figurarci una massa d' acqua la quale cessi per poco di esser grave , ma non di esser liquida : questa abbandonata a se stessa non potrà cadere , nè scorrere allorchè si voglia versarla ; ed è chiaro , che per tenerla in quiete non sarebbe necessario poggiarla sul suolo o contenerla in un vase. Ma anche in questo caso essa potrebbe ricevere e trasmettere alcune pressioni , secondo il principio generale che ora ci faremo ad esaminare.

56. *Principio di eguaglianza di pressione.* I liquidi son soggetti al principio di eguaglianza di pressione, vale a dire, che essi hanno la proprietà di trasmettere egualmente e per ogni verso le pressioni che si posson produrre sulla lor superficie.

Questo principio è un assioma in fisica , ma se non si deve dimostrarlo , è almeno necessario di farlo intendere : *abcd* (fig. 70) è un vase che contiene un liquido supposto privo di gravità , *p* è uno stantuffo solido che ne covre esattamente la superficie. Se lo stantuffo sia anche senza gravità , e se non sia carico di alcun peso , egli è chiaro che il liquido non proverà alcuna pressione , e che si potrebbe forare il vase , senza che il liquido dovesse scorrere : ma ponendo sullo

stantuffo un peso di 100 chilogrammi, per esempio, tosto questo farà uno sforzo per cadere, e cadrebbe di fatti se il liquido non si opponesse. Tanto se il liquido sia compressibile, tanto se non lo sia, il risultato sarà sempre lo stesso: egli è assolutamente necessario o che si distrugga, o che sostenga i cento chilogrammi. Lo *strato* superiore x sul quale si poggia lo stantuffo ne sostiene dunque tutto il peso, e premuto, come lo è, cadrebbe necessariamente se non fosse sostenuto dallo strato y che gli sta immediatamente sottoposto, esso preme su questo strato con tanta forza per quanto è premuto dallo stantuffo. In simil guisa lo strato y preme sul seguente z , e così continuando la pressione si comunicherà di strato in strato fino al fondo del vase, il quale sarà anche premuto come se lo stantuffo lo premesse immediatamente. Poichè la superficie del fondo soffre la pressione di 100 chilogrammi, egli è chiaro che ogni sua metà ne soffrirà una di 50, e la centesima parte di questa superficie dovrà anche soffrire la centesima parte della pressione totale, cioè di un solo chilogrammo. Quindi:

1°. La pressione si trasmette dall'alto in basso sulle superficie orizzontali senza perdere niente di sua forza;

2°. Essa è uguale in tutti i punti.

3°. È proporzionale all'ampiezza della superficie sulla quale si opera.

Lo stesso fenomeno avverasi sopra le superficie laterali: perciocchè se in qualunque punto si facesse un buco il liquido scapperebbe, e se si tagliasse una parte della superficie, questa sarebbe spinta al di fuori; finalmente se la parte tagliata fosse eguale all'intera larghezza dello stantuffo non ci vorrebbe meno di 100 chilogrammi per mantenerla in sito; e se questa avesse un'estensione cento volte minore, ci basterebbe lo sforzo di un chilogrammo. Se lo stesso stantuffo fosse bucato, il liquido scapperebbe di basso in alto, il che dimostra che la sua stessa parete è come le altre egual-

mente premuta. Laonde i liquidi trasmettono per tutti i versi, egualmente le pressioni, che si possono produrre sulle loro superficie.

Dopo avere inteso questo principio pei liquidi considerati senza gravità, è facile il vedere che esso si applica senza eccezione anche ai liquidi gravi, ma in questo caso vi sono delle pressioni, le quali hanno luogo sopra ciascuna molecola, e che nascono dalla gravità che loro è propria.

57. *Dell'equilibrio dei liquidi gravi.* — Due sono le condizioni necessarie per l'equilibrio dei liquidi: è mestieri da prima che le molecole superiori e libere si dispóngano in superficie perpendicolare alla forza che le spinge; ed in secondo luogo, che una molecola qualunque della massa soffra da tutte parti pressioni eguali e contrarie.

Prima condizione di equilibrio. Supponiamo che la superficie non sia perpendicolare alla forza che spinge le molecole liquide, ma che sia, per esempio, nella direzione *abcde*, mentre la forza è diretta secondo le verticali *vv*: (fig. 71) allora un piccolo strato orizzontale, come *bd* sarebbe premuto da tutto il peso delle molecole che sono al di sopra di esse; questa pressione come abbiamo veduto si trasmetterebbe lateralmente, e la molecola *b* spinta da questa pressione laterale, sarebbe mandata fuori, non essendovi alcuna forza che potesse ritenerla; uscendo questa, un'altra verrebbe in suo luogo, e che sarebbe egualmente espulsa a sua posta, e così avverrebbe alle altre fino a che la curvatura *bcd* non siasi depressa, e resa perfettamente orizzontale. Avverrebbe lo stesso di ogni altra parte di liquido che si trovasse al di sopra di un altro punto qualunque della superficie, onde l'equilibrio non può nascere se non quando le molecole libere sian ridotte a non poter più cadere, cioè quando siensi ordinate in una stessa superficie perpendicolare alla forza. Con l'applicazione di questo principio alla superficie del mare supposto perfettamente tranquillo,

agevole ci riuscirà di formarci un'idea di sua curvatura, e delle cause, che la producono. Se tutte le direzioni della gravità convenissero esattamente al centro della terra, e se questa forza fosse la sola che spingesse le molecole liquide, sarebbe mestieri, che in tutt' i mari la superficie libera delle acque prendesse la forma sferica; perciocchè è questa la sola superficie che sia perpendicolare a tutt' i raggi che convengono in un punto. Dovrebbe egualmente verificarsi, che tutte le rive fossero dal centro della terra egualmente distanti, perciocchè altrimenti non sarebbero allo stesso livello, e l'acqua più alta cadrebbe sulla più bassa.

Questa condizione necessaria per l'equilibrio delle masse fluide rende aperto ciò che noi abbiamo detto nel capo primo intorno alla direzione della gravità; è d'uopo che questa forza sia perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti, perciocchè essa stessa riduce le acque alla necessità di prender questa direzione.

Quando le molecole liquide sono spinte da qualche altra forza oltre della gravità terrestre, ognun comprende che per aversi l'equilibrio non debbono più costituire una superficie perpendicolare alla gravità solamente, ma sibbene alla risultante della gravità, e di tutte le altre forze operanti sulle medesime. Quindi la forza centrifuga che s'ingenera dal moto di rotazione della terra combinandosi continuamente colla gravità per spingere tutti i corpi, uopo è che la superficie delle acque dispongasi perpendicolare alla risultante di queste due forze; ed ecco perchè la superficie del mare è depressa verso i poli. Alle falde delle grandi montagne la massa delle quali è capace di deviare il filo a piombo, la superficie delle acque dovrà essere anche rimossa dalla sua forma regolare; essa s'innalza, e s'inclina sulla vera verticale per disporsi perpendicolare alla risultante delle azioni della terra e del monte. In simil guisa allorchè la luna passa al di sopra o al di sotto dell'orizzonte del mare, la sua forza di attrazione sulle acque si combina con quella di gravità per

produrre una risultante che non è più verticale; e però la mobile superficie dell' Oceano cercando un equilibrio che non può trovare a cagion del moto di rotazione della luna, s'innalza e si abbassa successivamente, ed esegue infine le periodiche oscillazioni del flusso e del riflusso. Avvengono nella natura parecchi altri fenomeni i quali sembrano di non avere alcuna analogia colle maree, e pure dipendono da un principio simile: si sa per esempio, l'acqua non avere una superficie perfettamente piana in un bicchiere comune, ma innalzarsi verso le pareti, nella maniera indicata dalla figura 72: al contrario la superficie del mercurio deprimersi in vicinanza di queste, quasi temendo di toccarle (fig. 73). Questo avviene perchè non è la sola gravità in tali casi che opera su i liquidi; altre forze vi sono con essa: la forza di attrazione delle molecole fra loro, e tra queste è la materia del vase. Laonde la superficie del liquido dovrà disporsi perpendicolare alla risultante di queste tre forze, e dalla ragione della intensità delle due ultime nasce la concavità o convessità della linea di livello. Vedremo nascere da questo principio tutta quella generazione di fenomeni conosciuti sotto il nome di *fenomeni capillari*, de' quali dovremo trattare in uno de' seguenti libri.

Seconda condizione di equilibrio. — La seconda condizione di equilibrio è chiara da sé, perciocchè le molecole che sono entro la massa liquida ricevendo le pressioni di tutte le molecole che giacciono al di sopra di esse, e, in virtù del principio di eguaglianza di pressione, tendendo a trasmettere questa pressione per tutti i versi, segue, che se in due direzioni opposte le pressioni che soffre una molecola non fossero eguali e contrarie, questa muoverebbesi per lo verso della pressione maggiore, e la massa liquida non sarebbe in equilibrio.

58. *Pressioni.* — Allorchè le masse liquide sono in equilibrio, esercitano sopra di loro stesse e su tutt' i corpi solidi che toccano delle più o men gagliarde

pressioni , la misura delle quali ci faremo a determinare , esaminando successivamente le pressioni dall'alto in basso e dal basso in alto che i liquidi esercitano sulle superficie orizzontali , e poi quelle sulle superficie obblique.

La pressione dall'alto in basso che un liquido esercita sul fondo del vase che lo contiene , non dipende affatto dalla forma di questo vaso , ed è sempre eguale al peso di una colonna dello stesso liquido la quale abbia per base il fondo del vaso e per altezza l'altezza del livello.

La prima parte di questa proposizione dimostrasi facilmente mercè lo strumento del signor di Haldat , (fig. 78). Esso si compone di un tubo ricurvo *abc*, fermato in una cassa *y*, e fatto da poter ricevere in *a* vasi di forme differenti come *d*, *e*, *f* (fig. 79, 80, e 81). Da prima si pone del mercurio nel tubo *abc* e mercè di un *corsoio*, si nota sul braccio *c* l'altezza *n* ove si arresta ; allora sull'estremo *a* si adatta a vite il vaso cilindrico *d* ; vi si versa entro dell'acqua fino ad una certa altezza *h*, e si osserva l'altezza *p* cui giunge il mercurio nel braccio *c*. L'elevazione *np* della colonna di mercurio , è sicuramente l'effetto della pressione che l'acqua contenuta nel vaso *d* esercita sulla superficie del mercurio che ne costituisce il vero fondo. Fatta questa osservazione si vòta il vase per mezzo della chiavetta *r*, e poi si toglie per porre in sua vece il vaso slargato *e*, o quello ristretto *f*. Tostochè si è versata in questi una colonna di acqua alta quanto quella che era nel vase *d*, si vedrà il mercurio salire nel braccio *c* precisamente all'altezza *p*. Dunque la pressione che questi tre vasi differenti soffrono sul fondo è perfettamente la stessa , quante volte sia la stessa l'altezza del liquido , e però la pressione , come poco innanzi dicevamo non dipende per nulla dalla forma del vase ; se il fondo del vaso , il liquido , e l'altezza sian gli stessi , la stessa sarà anche la pressione , o che il vase sia cilindrico (fig. 74), o che comprenda molto

liquido (fig. 75), o che ne contenga pochissimo (fig. 76), o che sorga perpendicolare sulla base, o obbliquo (fig. 77).

Per dimostrare poi la seconda parte della proposizione, basterà il por mente, che nel vaso cilindrico (fig. 74), il fondo ab soffre una pressione perfettamente eguale al peso del liquido, perciocchè le pressioni esercitate contro le pareti essendo orizzontali, non possono in alcun modo sostenere il peso del liquido, e neppure aumentarlo o diminuirlo. Ora i vasi obliqui slargati o ristretti ricevendo su i loro fondi la stessa pressione del vaso cilindrico, ne segue, la pressione in questi non essere eguale al peso del liquido che contengono, ma bensì a quello di una colonna liquida avendo per base il fondo del vaso, e per altezza l'altezza di livello, come se il vase fosse cilindrico.

Tutte le porzioni del fondo essendo egualmente premute, segue, che se invece di considerare il fondo in tutta la sua ampiezza, se ne considerasse solo una parte, come la metà, il terzo, il quarto, la pressione sofferta da questa sarà la metà, la terza, o la quarta parte della pressione totale. Se generalmente dicasi s la porzione del fondo presa in considerazione, a l'altezza di livello, e d la densità del liquido, la pressione sulla superficie s sarà espressa ads ; perciocchè as è il volume della colonna liquida, e per avere il peso uopo è moltiplicare il volume per la densità.

Quindi apparisce, con un litro di acqua che pesa un chilogrammo, potersi egualmente una pressione picciolissima o grandissima produrre. Affinchè la pressione sia, per esempio, di un chilogrammo; basterà prendere un vase cilindrico di qualunque base; la intera pressione sarà sempre eguale al peso del liquido, e però di un chilogrammo: solo la pressione sopra ogni centimetro quadrato del fondo sarà minore o maggiore secondo che il vase sarà più largo o più stretto.

Acciò la pressione sia di $\frac{1}{10}$ di chilogrammo, basterà prendere un vase, il fondo del quale sia, per esem-

pio di un decimetro quadrato, ma slargato in guisa che il litro d'acqua vi prenda un'altezza di $\frac{1}{10}$ di decimetro, ossia di un centimetro.

Se si voglia che la pressione sia di 10 chilogrammi, si dovrà prendere un vase, il cui fondo, per esempio, sia di un decimetro quadrato, ma ristretto in guisa che il litro d'acqua vi prenda un'altezza di 10 decimetri, ossia di un metro.

Con lo stesso peso di un chilogrammo, sarebbe del pari facilissima cosa il produrre una pressione di $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$, ec. di chilogrammo, o una pressione di 100, 1000, ec., chilogrammi.

Le pressioni poi non avvengono solo su i fondi de' vasi, ma in tutti i punti entro le masse liquide, e si trasmettono per ogni verso, in virtù del principio di eguaglianza di pressione: in fatti, entro la massa liquida figuriamoci una sezione *mp* (fig. 82) che sia parallela alla superficie di livello *nv*, tutte le molecole componenti questa sezione, convien che sian premute da tutto ciò che è al di sopra di loro, onde trovansi come se fosser premute da uno stantuffo di un peso eguale a quello del cilindro liquido *nvmp*: se non che questa pressione che prova dall'alto in basso, si trasmette dal basso in alto, per lo principio di eguaglianza di pressione, ed ogni sua molecola trovasi in equilibrio per la simultaneità di coteste contrarie pressioni. Onde considerando solo una parte *ab* di questa sezione, è mestieri avvertire che la superficie *ab* è nello stesso tempo premuta di sopra in sotto dalla colonna liquida *da bc*, e di sotto in sopra da una forza eguale; in guisa, che se un cilindro solido fosse immerso nell'acqua, e con la base si appoggiasse sulla superficie *ab*, questa pressione di sotto in sopra spingerebbe in alto il cilindro.

Questo risultamento del raziocinio è confermato dalla seguente esperienza: *v* (fig. 83, e 84) è un tubo di vetro di pareti alquanto grosse bene spianate dalla parte inferiore: *t* è un disco anche di vetro

privato del pulimento, e perfettamente piano, che dicesi *otturatore*, questo è legato ad un filo che passa per entro al tubo, in modo che tirando questo filo, l'otturatore va a chiudere il tubo; così chiuso s'immerge nell'acqua. Allora non è più necessario di tirare il filo per impedire la caduta dell'otturatore, perciocchè esso è spinto in su dalla pressione che il liquido esercita dal basso in alto sulla sua superficie, e questa pressione è eguale a quella che soffrirebbe dall'alto in basso se fosse solo immerso nel liquido alla stessa profondità. E volendo di ciò restar pienamente persuasi, si versi dell'acqua nel tubo: secondo che l'interno livello si avvicina all'esterno n , l'otturatore sarà spinto dall'alto in basso con altrettanta forza che era respinto dal basso in alto, e finalmente si vedrà per lo proprio peso cadere.

Segue da ciò, che se si facesse un buco nel fondo di una barca, l'acqua tosto sgorgerebbe, e per impedire che essa si cacciasse entro la barca, sarebbe mestieri porre in opera una pressione che fosse eguale al peso di una colonna di acqua; avente per base l'apertura del buco e per altezza la profondità della barca al di sotto del livello. E però nei grandi vascelli la chiglia deve essere dotata di gran forza per poter resistere alle pressioni che di sotto in sopra produconsi sul fondo del vascello. Se questo fondo fosse orizzontale, ed avesse per esempio cento metri quadrati di superficie, la pressione sarebbe eguale a cento mila chilogrammi; se la nave fosse immersa ad un metro di profondità, ed a trecentomila chilogrammi se si trovasse immersa per tre metri. Da ciò agevole riesce l'intendere le grandi pressioni che si esercitano nei laghi, e ne' mari, e quelle che soffronsi da tutti gli elementi chimici, che ivi si trovano, e da tutti i corpi viventi che ne popolano le profondità. Ritourneremo su questo soggetto nel seguente capo.

2. La pressione che soffre una parete laterale è uguale al peso di una colonna liquida; che avrebbe

per altezza verticale la profondità del centro di gravità della parete al di sotto del livello, e per base orizzontale una superficie eguale alla parete stessa.

Le pressioni laterali si deducono dalle corrispondenti pressioni orizzontali, mercè il principio di eguaglianza di pressione; il punto m (fig. 82) facendo parte della sezione orizzontale mnp , questa le trasmette la pressione che soffre essa stessa; e siccome la trasmette in tutti i versi, perciò il punto m la riceve nella direzione perpendicolare alla parete della quale fa parte. In tal guisa ogni estensione di una parete laterale soffre la stessa pressione di una egual superficie della corrispondente sezione orizzontale, vale a dire *ads* rappresenta anche le pressioni laterali, la superficie s però deve in questo caso estendersi pochissimo in altezza, acciò la pressione sia sensibilmente eguale in tutt' i suoi punti (1). In un tino di acqua alto 10 metri, la pressione sopra di un centimetro quadrato della parete laterale, è dunque di 100 grammi alla profondità di un metro; è di 200 a 2 metri, e di un chilogrammo a 10 metri cioè al fondo.

Per ottenere la somma delle pressioni laterali che soffre una parete di figura piana sia triangolare, poligona, o di qualunque altra maniera, egli è chiaro che conviene trovare la risultante di un sistema di forze parallele crescenti in ragione della profondità, e della estensione orizzontale della porzione della parete che si prende in considerazione. Mercè questa composizione di forze, si perviene al teorema generale, che abbiamo enunciato intorno alle pressioni laterali (2).

(1) Perciocchè a rigor matematico s in questo caso dovrebbe esprimere la somma dei punti costituenti una linea.

(2) Nel sup. 2°. §. II. si è dimostrato che il momento della risultante di un sistema qualunque di forze parallele operanti per lo medesimo verso è eguale alla somma dei momenti delle componenti, riferiti ad uno stesso piano, se tutte le componenti siano dalla medesima parte del piano. Da ciò segue un'altra verità, cioè, che il momento della somma di tutt' i pesi costituenti un sistema applicato al centro di gravità del sistema, è eguale alla somma de' momenti

59. *Centro di pressione.* — Il punto di applicazione della risultante di tutte le pressioni elementari dicesi centro di *pressione*; esso è sempre al di sotto del centro di gravità, perciocchè questo coinciderebbe con quello se le forze non crescessero procedendo dalla superficie di livello insino al fondo. In una parete che abbia la figura di un parallelogrammo il centro di pressione sta sulla linea che divide per metà i lati orizzontali ad $\frac{1}{3}$ al di sopra del fondo. In una parete triangolare la cui base sia al fondo, il centro di pressione sta ad $\frac{1}{4}$ di una linea analoga alla precedente, e alla metà poi, se la base sia alla superficie di livello (1).

60. *Vasi comunicanti.* — Allorchè molti vasi sono tra loro in comunicazione, sia qualunque il numero e la forma dei medesimi, i liquidi che essi contengono sono, per l'equilibrio, soggetti alle due condizioni da noi antecedentemente stabilite. Laonde quando tutt' i vasi son pieni dello stesso liquido, conviene per la prima condizione, che le superficie sian di *livello*, e

dei pesi medesimi, riferiti allo stesso piano supposto al di là di tutti questi corpi costituenti il sistema. Premesse tali verità possiamo valutare la pressione contro una parete di figura piana. Si è veduto la pressione contro una qualunque porzione infinitesima s della parete, essere espressa da $a \times s \times d$; ma questa espressione può riguardarsi come il momento del peso ds riferito al piano di livello del liquido; dunque la somma delle pressioni su tutti gli elementi infinitesimi delle pareti e del fondo, si potrà riguardare come la somma de' momenti di tutti i loro pesi riferiti al piano di livello. La quale somma essendo eguale al momento della somma di tutt' i detti pesi riuniti nel centro di gravità della parete o del fondo, riferiti al piano medesimo, se ne inferirà, la somma di tutte queste pressioni, o la pressione totale sofferta dal fondo o da una parete, essere eguale al peso di un prisma di liquido che abbia per base la superficie del fondo o della parete, e per altezza la distanza del suo centro di gravità dal livello del liquido.

Misurata dunque per la geometria la superficie della parete o del fondo e moltiplicatala per la gravità specifica del liquido e per la distanza del centro di gravità dalla superficie di livello, si avrà la pressione cercata.

(1) Il centro di pressione delle diverse figure si trova per mezzo del calcolo, per cui non si può qui aggiungere altro.

per la seconda che sian tutte allo *stesso livello*; perciocchè senza di ciò gli strati di livello dell' interno della massa non sarebbero egualmente premuti in tutta la loro estensione. Ed in vero, nel vase (fig. 85. e 86) se il livello del braccio grande fosse per esempio in *ah*, invece di essere in *n* sulla stessa linea orizzontale *nv*, la sezione di livello *mp* non sarebbe egualmente premuta in *m* ed in *p*, e non si avrebbe l' equilibrio, perciocchè una sezione di livello qualunque dovrà sempre essere ugualmente premuta in tutta la sua estensione. Se i liquidi poi sian diversi, le superficie avranno differente livello.

Nel vase espresso dalla figura 87, il braccio grande contiene dell' acqua ed il picciolo del mercurio: i liquidi si toccano in *g*, per dove si meni l' orizzontale *gh*; se le sezioni *g* ed *h* non avesser nulla al di sopra di esse si avrebbe l' equilibrio; quindi per l' equilibrio conviene che sopra ciascun punto di lor superficie sian ugualmente premute l' una dall' acqua e l' altra dal mercurio. Ora una porzione *s* della sezione *hg* soffre una pressione *sad*, dinotando per *a* l' altezza dell' acqua al di sopra di *d*, e per *d* la sua densità; similmente una egual porzione della sezione *h* soffre *sa'd'*, *a'* essendo l' altezza del mercurio al di sopra di *h*, e *d'* la sua densità. È mestieri dunque che sia $s \times ad = s \times a'd'$ ovvero $\frac{a}{a'} = \frac{d}{d'}$; cioè che le altezze al di sopra del punto di unione de' liquidi sono tra loro in ragione inversa delle densità (1): e però un pollice di mercurio si

(1) Essendo $s \times ad = s \times a'd'$, si ha, dividendo il primo ed il secondo membro per *s*, $ad = a'd'$, e però $a : a' = d' : d$. Quindi si potranno avere le ragioni delle gravità specifiche di diversi liquidi contenuti in vase o tubi comunicanti dalle ragioni delle altezze cui si sollevano nell' equilibrarsi.

Il sig. Guglielmui nel capo I. sulla natura de' fiumi assai bene dimostrò, che riempendo un vase di vari strati di sfere, ciascuna di esse debba comunicare alle sue addiacenti quella stessa impressione, che dalle superiori si riceve. E conchiuse altresì, che la suprema superficie alla quale compongonsi le più alte

equilibra con circa 14 pollici di acqua. L'unione delle superficie potrebbe non essere in una linea orizzontale, come per esempio se si versasse molt' acqua nel vase affin di spingere la colonna di mercurio fino ad *si*; ma in questo caso si comprende, che se le pressioni laterali sono le stesse da ciascuna parte su le molecole che sono al centro e nell'asse del tubo in quest'azione esse più non possono esserlo per le molecole che sono o al disopra o al disotto. Alla parte superiore in *s*, la pressione dell'acqua la vince, al contrario la vince il mercurio alla parte inferiore *i*; la superficie di unione tende a prender la figura *si*, e l'acqua finalmente passa nel braccio piccolo e il mercurio nel grande sino a che non si abbia un altro equilibrio.

Ne' tubi che hanno un apertura minore d'una linea questo effetto non producesi: le colonne son troppo piccole per *dividersi*, l'attrazione delle molecole di ciascun liquido basta per resistere all'ineguaglianza di

infra di esse debba formare un pidno orizzontale: e finalmente, che ritrovandosi coteste sfere entro a vasi comunicanti, non possa succederne l'equilibrio, se gli strati supremi delle medesime non siano orizzontali, ed ugualmente alti ec. Ma non dimostrò il valentuomo le inverse proposizioni, per la qual cosa non si può con certezza asserire essere le molecole de' liquidi di figura sferica, che anzi alcune osservazioni microscopiche fatte dal nostro Antonio Barba sembrano opporsi al divisamento del Guglielmini. Il Barba vide non esser globose le parti del nostro sangue, secondo che anche l'Autore ha detto altrove. Ciò per altro non mi sembra distruggere l'opinione del Guglielmini, perciocchè potrebbe ben darsi che le ciambellettes osservate nel sangue nuotino in un altro liquido le cui parti siano sferiche e tenuissime, e questo liquido potrebbe essere il siero. Del resto non nostrum est tantas componere lites.

Se in un braccio di un sifone curvo sia posta dell'acqua, e nell'altro del mercurio, questi liquidi nel caso di equilibrio avranno le altezze in ragione reciproca delle densità: ma se nel tubo ove è l'acqua, altra a stilla a stilla se ne infonda, il mercurio sarà esso respinto rimanendo pensile sull'acqua, o questa trapelerà passando al di sopra del mercurio? Surta questa quistione tra i signori N. Fergola ed A. Giordano, ricorsero alla esperienza, si vide l'acqua penetrare il mercurio e farglisi al di sopra siccome avea preveduto il sig. Giordano.

pressione che si ha tra le parti superiori e le inferiori (1).

61. *Del livello del mare.* — I principi dell'idrostatica non si applicano solamente a' tubi ed a' piccoli

(1) In due tubi o vasi comunicanti di diverso diametro, purchè uno di essi non sia capillare, posto un liquido, questo prenderà la stessa altezza in ambo i tubi, e quindi una massa di acqua grandissima può stare in equilibrio con una massa piccolissima, onde si può con tenuissima quantità di liquido produrre una gran pressione. Infatti, dalle dottrine esposte dall'Autore segue, che se un vase abbia un collo stretto, ma assai lungo, e venga pieno di liquido, si produrrà sul fondo una pressione di gran lunga maggiore del peso del liquido. I fisici per dimostrare coll'esperienza questo, così detto, *paradosso idrostatico*, introducono, per mezzo di un lungo tubo, dell'acqua in un mantice molto resistente, ed osservano che, mantenendosi pieno il tubo, l'acqua esercita sul fondo e sulle pareti sì forte pressione, che solleva dei pesi posti sul manifce.

Conosciuta la pressione de' liquidi contro le pareti de' vasi, si posson conoscere le condizioni di stabilità delle pareti medesime che debbon questi liquidi contenere. E, per venir a capo di tutto questo, è mestieri trovare le condizioni di equilibrio tra la pressione de' liquidi la quale tende a rompere le pareti, e la forza con cui queste alla rottura resistono. Né recherò un esempio pe' vasi cilindrici che potrà valere pe' condotti.

La resistenza che le pareti oppongono alla rottura risulta da due elementi, cioè dalla grossezza delle pareti, e dalla tenacità onde sono formate. Dicesi dunque n la resistenza, s la grossezza, t la tenacità ed avremo $n = s t$; similmente per un'altra parete $n' = s' t'$. La pressione P dell'acqua contro una circonferenza orizzontale del raggio r , posto $a = 1$, sarà espressa da $P = a \times \text{circ. } r$; e similmente per un'altra circonferenza del raggio r' si avrà $P' = a' \times \text{circ. } r'$. E poichè le circonferenze sono come i raggi avremo $P : P' = a r : a' r'$. Or affinchè le resistenze delle pareti siano in equilibrio con le pressioni dell'acqua, convien che si abbia $P = n = s t$, e $P' = n' = s' t'$. Si avrà dunque per l'equilibrio $s t : s' t' = a r : a' r'$, donde ricavasi $s' = \frac{a' r' s t}{a r t'}$. Questa formola ci dà la grossezza che convien dare

alle pareti di qualunque recipiente cilindrico del raggio r' , nel quale l'acqua si trovi ad un'altezza a' , supponendosi conosciute per esperienza la grossezza s , ed il raggio r di un altro tubo premuto dallo stesso liquido elevato ad un'altezza a , e finalmente la ragione delle tenacità de' materiali de' due tubi o vasi. Nel caso che i liquidi avessero diversa gravità specifica, come per esempio acqua e mercurio, converrà anche di questa tener conto, ed allora sarebbe $s' = \frac{a' r' s t a}{a r t' d}$, indicando con d la gravità specifica del mercurio.

vasi su i quali possiamo fare delle sperienze, ma egualmente a tutt' i liquidi che sono in natura.

Le acque che empiono le profondità de' mari son livellate, ed hanno intorno al globo terrestre una figura permanente per effetto degli antecedenti principi. Che se sono dalle tempeste sollevate, ritornano per le leggi dell' equilibrio ne' limiti ad esse assegnati.

Se la terra fosse immobile, e composta di strati omogenei, la superficie de' mari sarebbe perfettamente sferica; i viaggiatori che passano sotto l'equatore, quelli che percorrono incognite spiagge nell' uor o nell' altro emisfero, e quelli che visitano le coste della Groenlandia, ed anche i mari più vicini al polo, sarebber tutti in pari tempo egualmente lontani dal centro della terra; e ciò seguirebbe per le leggi idrostatiche e per la struttura delle parti solide del globo, le quali

Sapendosi dalle sperienze di Mariotte che un tubo di piombo del diametro di 16 pol. par. avente le pareti della grossezza di linee $6\frac{1}{2}$ può sostenere un carico di 50 piedi par. di acqua, si potrà conoscere la grossezza che dar si debba ad un altro tubo dello stesso metallo che abbia 6 pol. di diametro, e debba sostenere un carico di 100 piedi di acqua, imperciocchè in questo caso si ha $t = t'$, $a' = 100$, $r' = 6$, $r = 16$, $x = 6\frac{1}{2}$, $a = 50$, e quindi si ha, sostituendo questi valori, $s' = 4\frac{2}{3}$.

E qui giova avvertire non doversi nella pratica contentare di aver soddisfatto alle condizioni di equilibrio fra la pressione e la resistenza, ma dover sempre fare in modo che questa sia di quella maggiore per provvedere così alla stabilità. E nel trovare il valore di $s' = 4\frac{2}{3}$ si sarà forse adempiuta questa condizione perciocchè Mariotte non dice essere in quel caso la resistenza delle pareti in equilibrio con la pressione.

Siccome poi la pressione varia, al variar delle altezze, così è chiaro, le sezioni orizzontali più alte del tubo poter ricevere minor grossezza. V. Navier, *Resumé des Leçon donnée a l'École des ponts et chaussées*.

Fra le utili applicazioni di queste dottrine va la determinazione della grossezza che convien dare agli argini perchè reggano alla pressione dell'acqua. Ma io non debbo intrattenermi su queste materie: accento spesso le applicazioni che la scienza può ricevere per mostrarne l'utilità.

presentano alla superficie delle insensibili prominenze. Le grandi ineguaglianze nelle parti solide turberebbero la sfericità delle superficie liquide: se la catena delle Cordigliere fosse solo cento volte più alta, le acque salirebbero verso le coste dell'America, tanto dalla parte di Oriente, quanto da quella di Occidente, si abbasserebbero al contrario verso le opposte spiagge, ed i porti di Francia egualmente che quelli del Giappone sarebbero in secco.

Se la terra fosse immobile, ed all'esterno composta di parti di variissima densità; se per esempio al di sotto dell'Oceano tra la crosta che ne fa il fondo ed il centro della terra, si trovassero immense caverne vuote o piene di materie pochissimo dense, è facile l'intendere, dover essere sulle acque dell'Oceano la gravità molto meno intensa, che sugli altri mari, e la superficie generale delle acque invece di esser sferica, dove depressa e dove elevata dover riuscire. Laonde la sola eterogeneità di sostanze potrebbe per se stessa produrre una irregolarità di forma; e se a questa causa l'altra si unisca della efficacia della forza centrifuga, si vedrà la quistione più intricata dover diventare. Nella ignoranza nella quale siamo intorno alla composizione dell'interno del globo, di cui con tutt' i nostri mezzi non ne possiamo esplorare che una crosta di pochissima profondità, impossibile assolutamente ci riesce per ora di conoscere quale sia nello stato di quiete la vera curvatura della superficie delle acque. Per tale ragione si è tentato di determinarla mercè di livellazioni dirette, ed ecco quali risulamenti sonosi sul proposito ottenuti.

Il livello del mar Rosso è più alto di quello del Mediterraneo di 9^m, 9 nell'alta marea, e di 8^m, 12 nella bassa. Questa differenza fu conosciuta durante la spedizione di Egitto da una commissione d'ingegneri diretti dal signor Le Père.

Il mare Mediterraneo a Barcellona, e l'Oceano a Dunquerque sono quasi perfettamente allo stesso livello, secondo le osservazioni di Delambre.

Il mare del Sud al Callao sembra di 7^m più elevato dell'Oceano a Cartagena, secondo le misure barometriche del signor di Humbolt.

62. Il miscuglio delle acque de' fiumi con quelle del mare presenta anche qualche notabile fenomeno di idrostatica. L'acqua dolce come più leggiera dee restarsene alla superficie; mentre l'acqua salsa più grave deve andar sotto. E questo infatti è stato osservato dal signor Stevenson nel 1816 nel porto di Aberdeen, alla imboccatura del Dea, ed anche del Tamigi presso Londra e Wolwich. Attignendo l'acqua da varie profondità con uno strumento all'uopo ideato, il signor Stevenson trovò che ad una certa distanza dalla imboccatura l'acqua è dolce a qualunque profondità; anche in tempo dell'alta marea, ma che avvicinandosi un poco più verso la foce, cioè verso il mare, si trova acqua dolce sopra, ed acqua salsa verso il fondo o letto del fiume. Secondo queste osservazioni, tra Londra e Wolwich pel Tamigi comincia a rendersi sensibile la salsedine verso il fondo. Onde al di sotto di Wolwich questo fiume invece di scorrere sopra un letto solido, scorre sopra un letto liquido formato dall'acqua marina, con la quale sicuramente più o meno si mescola. Frattanto il signor Stevenson crede che in tempo dell'alta marea le acque dolci siano innalzate, per dir così, *in un sol pezzo* dalle acque salse, che affluiscono ed ascendono nel letto del fiume, mentre l'acqua dolce continua a scorrere verso il mare.

Queste sperienze par che confermino l'opinione che Franklin manifestava sul proposito nell'anno 1761. » Se qualche fiume, diceva costui, entri in un lago senza che questo sbocchi, ciò avviene perchè le acque si spaziano in una superficie sì ampia, che lo svaporamento toglie una massa di acqua quasi eguale a quella che vi affluisce; ma sonovi de' fiumi i quali per la estensione del loro corso e per l'ampiezza della foce possono assimilarsi ad un lago ». Ma affinchè la similitudine fosse perfetta, uopo sarebbe che una diga ar-

restasse la corrente delle acque vietando alle medesime di entrar nel mare: si avrebbero in tal caso secondo le stagioni alcune differenze di livello; ma in generale comprendesi, queste differenze in certi casi potersi ridurre fra limiti molto ristretti. Quantunque la comunicazione tra il fiume ed il mare sia aperta; pure si può supporre trovarsi la diga della quale parliamo nella superficie di unione tra l'acqua dolce e l'acqua salsa: se non che questa diga sarà mobile, e salirà per un certo numero di leghe in tempo dell'alta marea, e poi scenderà di nuovo, variando l'ampiezza delle escursioni col variare della quantità dell'acqua. In alcuni casi l'acqua del mare e quella del fiume si mescolano nell'incontrarsi e per uno spazio più o meno grande, per lo doppio effetto del loro moto, e della differenza della gravità specifica; ma ad una certa distanza dalla foce, l'acqua dolce portata dalla corrente e respinta dalla marea oscillerà presso a poco fra gli stessi limiti senza giunger mai nel mare. Gl'ignoranti crederanno che le acque cadano e si perdano in qualche cavità sotterranea, mentre esse veramente si perdono per l'aria.

CAPO VI.

Dell'equilibrio de' gas e della pressione atmosferica.

63. L'aria è un corpo che non cade immediatamente sotto i nostri sensi; come i corpi solidi o liquidi; ma ci si mostra mercè di tanti fenomeni che avvengono sulla terra e sulle acque; per modo che non abbiain bisogno di andar cercando altre pruove di sua esistenza. Accadono uragani in ogni clima, ed in ogni mare sorgon tempeste; quindi il fluido aereo cinge tutta la superficie del globo, inalzandosi fino ad una considerevole altezza; il che si rende aperto dal vedere in tutt'i luoghi su i monti e sulle pianure galleggiar

le nubi portate dal vento, e al di sopra di queste nubi vedesi il brillante azzurro del cielo il quale addimostrea l'altezza dell'aria, siccome il colore dell'Oceano indica la profondità dell'acqua. Se non vi fosse aria il cielo sarebbe privo di luce e di colore; esso ci apparirebbe come una volta perfettamente nera, e gli astri si vedrebbero in pien mezziggio scintillare come di notte. Questa gran massa d'aria sparsa intorno alla terra, i cui strati sovrapposti l'un sull'altro si estendono al di sopra delle più alte montagne è ciò che diccsi atmosfera. La più alta cima dell'Himalaya s'innalza sol per due leghe dal livello del mare, e noi vedremo l'atmosfera inalzarsi per più di dodici o quindici leghe.

Le scoperte chimiche del passato secolo ci han fatto conoscere parecchi corpi diversi per natura dell'aria, ma simili per la trasparenza, per la fluidità e per tutte le loro proprietà fisiche. Costesti corpi ebber vario nome: faron da prima chiamati *arie*; e quindi sentivasi dire *aria melfica*, *aria infiammabile*, *aria epatica*, *aria fissa*, *aria sflogistica*, *desflogistica* ec. ora tutti questi corpi son detti *gas*, *corpi gassosi*, o *fluidi elastici*.

64. I gas sono soggetti a due generazioni di forze, come i solidi ed i liquidi, cioè alla forza di gravità ed alle forze molecolari.

65. La gravità dell'aria la quale fu supposta anche prima di Aristotile non fu veramente dimostrata che nel 1640 dal Galileo, e poco dopo, confermata dalle belle sperienze del Torricelli, e da quelle più chiare di Pascal. Questa fondamentale verità puossi per la seguente sperienza direttamente dimostrare: si estrae l'aria da una grossa sfera per mezzo della macchina pneumatica, si sospende ad un braccio di bilancia, e si equilibra con pesi posti dall'altra parte. Se ciò fatto si apra per un momento la chiavetta per far entrar nella sfera un poco d'aria, immediatamente l'equilibrio sarà distrutto, e la bilancia prepondererà dalla parte della sfera; in guisa che sarà necessario di porre

nuovi pesi nell' opposta coppa ; se la chiavetta per un altro momento si riaprirà , si vedrà un nuovo aumento di peso , e se infine si lasci entrare l' aria interamente , si vedrà , che per riaver l' equilibrio sarà forza di aggiungere un peso sensibilissimo. Per una sfera di 10 litri la differenza dei pesi è di oltre 10 grammi , il che dimostra per una prima approssimazione che un litro d' acqua , d' ordinario pesa poco più di un grammo , vale a dire che l' acqua non è mille volte più pesante dell' aria comune a Parigi.

66. Le forze molecolari non operano nei gas come ne' solidi e ne' liquidi.

Noi abbiain veduto queste forze tener le molecole de' solidi fortemente strette le une sulle altre , e fermate al proprio luogo ; tener poi del pari le molecole de' liquidi , in maniera da restare ad esse una libertà di potersi muovere per ogni verso ; ma ne' gas le forze molecolari son ripulsive , e tutte le molecole ubbidienti all' azione di questa forza tendono a scostarsi le une dalle altre e si scostan di fatti fino a che non incontrano un ostacolo che le trattenga. Laonde l' aria chiusa in un vase fa uno sforzo contro le pareti del medesimo per espandersi , e però o esse debbono scoppiare o debbono esser forti a segno da poter resistere a questo sforzo. Una tal conseguenza sembra alla esperienza contraria , perciocchè se fosse vero , che l' aria chiusa facesse cotesta forza contro le pareti del vase , sarebbe mestieri che quest' aria scappasse per ogni minimo buco , e con più salda ragione uscir dovrebbe con forza nell' aprire il vase , o anche prima che si abbia il tempo di chiuderlo. Donde ne conseguirebbe doversi tutt' i vasi trovar vòti di aria , mentre ognun sa essere invece tutti pieni , a meno che non siasi in essi versata acqua o altro liquido che ne abbia occupato il luogo. Per dileguare questa difficoltà , figuriamoci un vase di un litro , per esempio , di capacità , ed ermeticamente chiuso : se questo fosse vòto e vi si facesse un buco , l' aria esterna sul momento si precipiterebbe per empirlo : se

all' opposto il vase fosse pieno e di fuori non vi fosse aria , perforandone le pareti, l'aria di dentro scapperebbe tosto : ma trovandosi aria di dentro e di fuori con quanta forza quella di fuori tende a cacciarsi nel vase , con altrettanta questa cerca di uscire , e fra queste eguali pressioni producesi l'equilibrio ne' punti ove il vase è aperto egualmente che in quelli ove è chiuso dalle pareti. È dunque l'aria esterna che alla forza repulsiva dell'aria interna si oppone.

Cotesto equilibrio di pressioni essendo degno di esser notato , gioverà dimostrarlo con una esperienza diretta. Sotto al recipiente della macchina pneumatica, si ponga una vescica piena per metà di aria , col dar moto agli stantuffi si vedrà la vescica man mano gonfiarsi finchè prenda tutto il volume del quale è capace; essa si gonfierà come se uno vi soffiasse entro con forza. Si comprende dunque che l'aria interna fa forza contro le pareti per rimuoverle, e le rimuoverà veramente se per mezzo della macchina si tolga l'aria del recipiente la quale opponevasi a cotesta forza. In vece della vescica avrebbe potuto mettersi sotto al recipiente un vase di vetro sottilissimo chiuso da un turacciolo, col fare il vòto sarebbesi veduto saltare il turacciolo ovvero creparsi il vase. Questa pressione che l'aria esercita contro le pareti de' vasi che la contengono, dicesi *Elasticità* , la *forza elastica* , ed anche la *tensione* di essa.

Una molla addimostrasi elastica solo quando è compressa , e perde la sua tensione , tostochè si è ridotta alla primitiva sua forma; ma l'aria è sempre in istato di tensione attuale; non avvi per essa un volume primitivo , perciocchè tende sempre ad occupare uno spazio maggiore. Un litro d'aria comune intródotto in uno spazio vòto di molte migliaia di metri cubici, si espanderebbe in guisa da occuparlo tutto e premerebbe le pareti per ogni verso , facendo forza per espandersi di più. Da ciò si comprende l'importanza di studiare gli effetti dell'aria atmosferica , perciocchè la

sua sola presenza è una forza operosa in tutt' i fenomeni che osserviamo.

67. *Condizioni di equilibrio dell' aria.* — Per l' equilibrio de' gas una sola condizione richiedesi, cioè, che la lor forza elastica sia la stessa in tutta l' estensione di uno strato di livello. Questa condizione è analoga alla seconda condizione di equilibrio de' liquidi (§. 64), e deducesi da medesimi principi, vale a dire dalla mobilità delle molecole e dall' azione che la gravità esercita sopra di esse. In un vaso qualunque (fig. 89), tutt' i punti della sezione orizzontale *cd* convien che abbiano la stessa elasticità, perciocchè la forza ripulsiva delle molecole, che sono in *b* deve opporsi a quella delle molecole, che sono in *v*, e tali forze non potranno mettersi in equilibrio se non siano eguali in tutt' i punti della sezione orizzontale *cd*. Lo stesso ragionamento avrà luogo per tutte le altre sezioni di livello considerate al di sopra o al di sotto di *cd*; ma facilmente comprendesi essere la sezione *mp*, per esempio, premuta più di *cd*, perciocchè quella soffre tutta la pressione, che si opera in *cd* ad essa comunicata per lo principio di eguaglianza di pressione, ed oltre a ciò tutto il peso della colonna d' aria *cdmp*, la quale preme sopra *mp* come una colonna d' acqua sul fondo di un vase.

Le condizioni della stabilità e della instabilità dell' equilibrio, sono del pari le stesse, che quelle de' liquidi; e per le ragioni medesime; l' equilibrio è stabile quando la densità dell' aria inferiore è maggiore di quella dell' aria superiore, ed è instabile quando accade il contrario. Ma l' equilibrio instabile, quantunque matematicamente possibile, non l' è mai fisicamente, a cagione della grande mobilità delle molecole de' gas.

Questa legge dell' equilibrio dell' aria, è generale per tutte le masse gassose, grandi o piccole ch' esse siano; essa vale per l' aria contenuta in un grande edificio, egualmente che per quella compresa

in piccol vase ; essa si applica a tutta la colonna di aria atmosferica che si poggia sopra un'ampia pianura , e finalmente all'intera massa dell'aria costituente l'atmosfera. Allorchè ad una qualunque altezza , come per esempio a quella del monte Bianco , si consideri uno strato atmosferico che cinge la terra parallelamente alla superficie delle acque , sarà mestieri per l'equilibrio che tutt' i punti di questo strato soffrano la stessa pressione tanto a Parigi quanto agli antipodi , tanto al di sopra della terra ferma quanto del mare , e nelle regioni polari egualmente che nelle equatoriali. Un secondo strato parallelo a questo , ma posto per cento metri al disotto , dovrebbe per la stessa ragione esser egualmente premuto in tutt' i suoi punti , ma tutti questi sarebber premuti di più di quelli del primo strato , per quanto è l'intero peso della colonna di aria di cento metri , che sta sopra di essi. Onde ad eguali altezze le pressioni saranno eguali ; ma coll' ascendere in alto la pressione dovrà scemare. La necessità di una pressione uniforme in una sì grande estensione ci fa ben intendere che nell' oceano aereo un perfetto equilibrio è impossibile. Una calma generale è incompatibile con sì grande mobilità , perciocchè un sol punto ch' è mosso mette in agitazione la massa intera.

I gas non possono mai come i liquidi avere una superficie libera sulla quale non si operi alcuna pressione , perciocchè abbiám veduto esser necessario un ostacolo per impedir la lor forza di espansione , la quale è indefinita. Da quanto abbiám detto , taluno potrebbe inferire , non esser l'atmosfera terminata all' altezza di dodici o quindici leghe , siccome si suole generalmente dire , perciocchè a questo limite le molecole dell'aria spinte dalla lor forza elastica , e non trovando alcuno ostacolo che potesse contenerle , dovrebbero diffondersi sempre più nel vòto fino ad occupare tutto l' immenso spazio celeste. In questo caso l'aria sarebbe per tutto , essa circonderebbe la luna egualmente che la terra , il sole ed i pianeti , e farebbe

intorno a questi astri un atmosfera simile alla terrestre. Ma noi dimostreremo in ottica che i fenomeni osservati non giustificano questa illazione, e senza parlare per ora delle cause che probabilmente mantengono le molecole dell'aria, saremo di parere, che la nostra atmosfera sia limitata, e che non si estenda al disopra di dodici o quindici leghe. Oltre di questo termine sta il vòto, e l'ultimo strato atmosferico è il limite della massa ponderabile della terra.

63. *Della pressione dell'aria.* — Fermate una volta le condizioni generali dell'equilibrio, possiamo per via di esperienze dirette far conoscere, essere gli strati più bassi dell'aria da' più alti premuti, ed esser varia la pressione alle varie altezze poste al di sopra del livello del mare.

Esperienza del crepa-vescica. — Si ponga sul piatto della macchina pneumatica un cilindro di vetro (fig. 90), le cui pareti sieno molto grosse, chiuso nella parte superiore da una membrana di vescica ben tesa e fortemente incollata con i suoi margini. Questa membrana soffre da una banda la pressione dell'aria esterna che tende a deprimerla, e dall'altra la pressione dell'aria interna che tende ad innalzarla; onde è che essa resta in equilibrio fra queste due opposte pressioni. Se per qualunque mezzo s'introducesse nel cilindro una qualunque quantità di aria, la pressione interna diverrebbe più forte, e la membrana si gonfierebbe dalla parte esterna: se al contrario si estrarra l'aria, la pressione interna infievolendosi e la membrana cedendo alla pressione esterna dovrà piegarsi curvandosi dalla parte interna. E questo effetto ottiensi facendo operare la macchina pneumatica, perciocchè questa a poco a poco tira l'aria compresa nel cilindro; dopo la prima agitazione dei stantuffi la membrana si vede incurvare sotto l'esterna pressione, poi piegarsi sempre più, e finalmente quando si è fatto il vòto si vede che essa è fortemente tesa; e per conseguenza premuta moltissimo.

Si può giudicare che un peso di 100 chilogrammi poggiato sulla medesima meno la stirerebbe. Allora se sul mezzo della vescica si dia un colpo anche leggerissimo con un dito, essa si creperà dividendosi in mille parti; e produrrà un' esplosione più forte di un colpo di pistola, tanto è grande lo sforzo che fa l'aria mercè la sua pressione per rientrare nel cilindro, perciocchè rientrando con impeto essa produce cotesto rumore.

Invece di una pressione dall'alto in basso si avrebbe una pressione laterale; se il crepa-vescica fosse inclinato, ovvero una pressione di sotto in sopra se fosse capovolto; tutte queste pressioni non producendo minore effetto della prima segue che l'aria preme per tutt' i versi, ovvero che le pressioni si trasmettono e diventano pressioni di sotto in sopra, siccome accade nei liquidi. Questa esperienza sembra da prima maravigliosa; non s' intende come l'aria di un appartamento possa produrre una pressione sì grande. Sarebbe mestieri che essa fosse molto pesante se operasse per propria gravità, perciocchè una colonna di acqua dell' altezza dell' appartamento non potrebbe mica produrre cotanto effetto. Epperò che vi deve essere un' altra cagione. Supponiamo per un momento che l'esperienza si sia fatta all'aria aperta; allora, secondo i principi dell'idrostatica, la pressione sarebbe eguale al peso della colonna di aria avente per base la larghezza della membrana e per altezza non un metro, non dieci metri, non cento metri, ma tutta l'altezza dell'atmosfera; dieci leghe se l'atmosfera è alta dieci leghe, cento se cento. Poichè sopra ad una stessa sezione di livello le pressioni son sempre eguali, si vede che in un appartamento la pressione che si produce nel crepa-vescica è anche eguale a tutta la pressione atmosferica (1).

(1) Se il crepa-vescica del quale parla l'Autore si trovasse sotto di un recipiente pieno di aria, e si operasse nella maniera stessa da lui indicata, il fenomeno anche produrrebbersi. In questo caso

Misurando questa pressione che fa scoppiare con tanto rumore la membrana del crepa-vescica, si avrebbe l'intero peso di una colonna di aria alta quanto l'atmosfera; del pari che un fisico potrebbe al fondo del mare, con simile strumento, conoscere il peso totale della colonna di acqua, che inalzerebbesi al di sopra del suo capo.

69. *Misura della pressione atmosferica.* — L'atmosfera circondando la terra ne preme tutta la superficie appunto come preme sulla membrana del crepa-vescica; essa preme egualmente sulla superficie della terra ferma, e su quella delle acque, tanto nell'ampia estensione de' mari quanto ne' laghi, non che ne' vasi de' quali ci serviamo per le nostre sperienze.

Supponiamo che un tubo s'immerga con uno de' suoi estremi in un vase pieno di acqua (fig. 91): il liquido si porrà allo stesso livello nel tubo e nel vase, perciocchè la pressione atmosferica è la stessa tanto nell'interno del tubo *cd*, quando al di fuori, sulla superficie *ab*. Ma se s'inspiri una parte dell'aria contenuta nel tubo, il liquido ascenderà come se venisse anch'esso inspirato, il medesimo ascenderà di più se si continui ad inspirare l'aria, e se la inspirazione si sospenda, il liquido si arresterà rimanendo elevato nel tubo. Questa esperienza la quale è un trastullo infantile, ci offrirà il mezzo di misurare la pressione atmosferica, e di conoscere l'intero peso dell'aria, come se ci venisse dato di porre tutta l'atmosfera in una bilancia. Inspirando l'aria, si attenua la pressione nell'interno del tubo, senza produrre alcun cambiamento sulla pressione esterna, la quale essendo perciò più gagliarda, fa che il liquido ascenda fino a che

il fenomeno avverrebbe per la elasticità dell'aria, la quale pareggia sempre la forza di pressione.

Se invece della membrana si faccia uso di un vetro, e si esegua l'operazione sopraindicata, questo romperassi riducendosi in minutissimi frantumi.

non sia ridotto alle condizioni di equilibrio , cioè fino a che la pressione non sia la stessa in tutta la linea di livello, vale a dire tanto al di dentro in *cd*, quanto al di fuori in *ab*. Tosto che coteste pressioni rendonsi eguali , il liquido più non ascende ; ma la interna pressione prodotta in *cd* è composta dalla pressione nascente dalla colonna elevata , e da quella dell' elasticità dell' aria , che rimane al di sopra della medesima. E però col rendere successivamente minore la elasticità dell' aria , l' acqua dovrà sempre più ascendere , in guisa , che se l' aria del tutto si togliesse , l' acqua dovrebbe ad un cotal punto elevarsi, da premere da se sola sopra *cd* cou forza eguale a quella con la quale l' atmosfera preme dalla parte esterna sopra di *ab* ; è mestieri dunque che il peso di questa colonna d' acqua pareggi quello di una colonna atmosferica avente la stessa base , ed alta quanto l' atmosfera , perciocchè l' aria e l' acqua premono solo col loro peso sopra ogni centimetro quadrato di superficie. Ecco quindi il mezzo per pesare una colonna atmosferica, sia quale si voglia l' altezza cui possa giungere: esso riducesi a trovare un tubo molto lungo , e ad espellerne , per quando si può , interamente l' aria. Pascal ne fece l' esperienza a Rouen nel 1646 , il tubo da lui adoperato era lungo 46 piedi , e per evitare la difficoltà di privarlo d' aria a poco a poco, il che sarebbe per que' tempi impossibile riuscito , egli fecelo chiudere perfettamente da una parte, lo riempì di vino, e poi con un turaccio chiuse anche l' altro estremo. Allora, mercè di funi e carrucole, il tubo fu ridotto in sito verticale , e con l' estremità inferiore immerso in un vase pieno di acqua : tosto che fu levato il turaccio che chiudeva la parte inferiore del tubo, la colonna liquida contenuta in questo, discese fino a che non giunse all' altezza di circa 32 piedi al di sopra della superficie di livello dell' acqua contenuta nel vase. Ne' 14 piedi che rimasero al di sopra del liquido interno non eravi aria , onde era uno spazio vòto , quindi la colonna di liquido da se sola fa-

ceva equilibrio alla pressione atmosferica ; donde segue che una colonna di acqua o di vino alta 32 piedi pesa quanto una colonna d'aria di eguale base. Laonde la superficie terrestre è in ogni punto premuta come se fosse ricoperta di acqua fino all'altezza di 32 piedi ; e noi che stiamo al fondo dell'oceano aereo , siamo per ogni verso premuti come se fossimo nel fondo di un lago le cui acque si elevassero per 32 piedi al di sopra del nostro capo (1).

Il primo germe di questa scoperta è dovuto ad alcuni fontanieri di Firenze. Costoro avendo avuto occasione di fare alcune trombe più alte di 32 piedi , osservarono con molto stupore , l'acqua non salire fin sopra. In que' tempi l'elevazione dei liquidi spiegavasi dicendo, la natura *abborrire il vóto*, e spingervi entro i liquidi per riempirlo. Le spiegazioni date per le *cause occulte*, non potevano far pago l'ingegno del Galileo ; e però essendogli venuto in notizia il fatto osservato dai fontanieri , suppose la gravità dell'aria doverne essere la vera causa. Il suo discepolo Torricelli ne esibì la più sicura dimostrazione , facendo uso presso a poco del seguente ragionamento : per produrre pressioni eguali le colonne liquide debbono avere le altezze in ragione inversa delle densità ; dunque una colonna di 16 piedi di un liquido la cui gravità specifica fosse doppia di quella dell'acqua dovrebbe equilibrarsi con l'atmosfera, ed il mercurio il quale è ad un dipresso 14 volte più pesante dell'acqua , ridotto in una colonna che sia la quattordicesima parte di 32 , ovvero circa 28 pollici dovrà produrre cotesto equilibrio. Questa è una conseguenza la quale si può facilmente verificare : prendasi un tubo di vetro di una trentina di pollici, chiuso da una parte , si empia di mercurio e poi turandolo col dito si capovolga immergendolo in una vaschetta piena

(1) Ciò s'intende qualora sopra del lago non esercitasse l'aria la sua pressione, per cui nel fatto, si soffirebbe sotto questo lago la pressione di due atmosfere.

dello stesso liquido (fig. 92). Levando il dito la colonna interiore si abbasserà di qualche pollice e poi si arresterà, si sarà dunque fatto l'equilibrio, e la piccola colonna di mercurio elevata nel tubo è una bilancia che ci fa conoscere il peso dell'atmosfera. Questo strumento è il *barometro*: la colonna di acqua di Pascal era un vero barometro ad acqua. Il vòto che sta sulla colonna barometrica vòto *barométrico*, o *vòto torricelliano* venne chiamato.

Ora possiamo aver molta giustezza ne' nostri risultamenti. L'altezza del barometro è l'altezza verticale della cima *s* (fig. 92), al disopra del livello *ab*; questa non è la stessa in tutt' i luoghi, ma sul lido del mare è ordinariamente di 76 centimetri. Laonde per un centimetro di base la colonna elevata è di 76 centimetri cubici; ed il suo peso il quale si ha moltiplicando il volume per la densità, è per conseguenza eguale a $76 \times 13,59$, ovvero ad $1^{\text{ch}}, 033$, essendo la densità del mercurio di 13,59. La colonna d'aria dunque che poggia sul mare avente un centimetro di base avrà il peso di $1^{\text{ch}}, 033$: si può andare oltre col calcolo, e rinvenire anche il peso di tutta la massa aerea che forma l'atmosfera, perciocchè quanti sono i centimetri quadrati della superficie terrestre tante volte $1^{\text{ch}}, 033$ sarà l'intero peso dell'aria. Il raggio del globo essendo di 6366745 metri, la superficie ne sarà di circa 100 mila miriametri; sopra ciascun miriametro il peso è di un milione di milioni di botti (*tonnes*) ciascuna di mille chilogrammi; laonde il peso totale dell'aria è di centomila milioni di milioni di botti. Ecco dunque l'intero peso dell'aria de' vapori, e di ogni maniera di esalazioni che compongono l'atmosfera. Sarà cosa piacevole di esaminare come appresso faremo, se questa massa di sostanze gassose soffra delle variazioni accidentali o secolari, ed abbia sofferta alcuna variazione da che Torricelli e Pascal per la prima volta la pesarono.

70. *Formazione del barometro.* — Sogliono dare

a questo strumento varie forme, secondo l'uso cui è ordinato; ma sonovi alcune condizioni generali di esattezza, le quali è forza che vengano soddisfatte sia quale si voglia la forma che si scelga.

1°. È mestieri che il mercurio sia purissimo, perciocchè la densità di questo rimane alterata dalla impurità.

2°. Allorchè la colonna sale o scende entro del tubo, la esterna superficie scende o sale, e però conviene che lo strumento sia fatto in guisa che si possa in ogni tempo conoscere l'altezza del barometro, cioè l'altezza verticale del livello interno al di sopra dell'esterno.

3°. Uopo è che il vòto al disopra della colonna barometrica sia perfetto, perciocchè restandovi alcun poco di aria o alquanti vapori, vi sarebbe una forza elastica, la quale opererebbe di continuo per deprimere il mercurio, e vieterebbe al medesimo di elevarsi alla conveniente altezza.

Per ottenere il vòto il più perfetto che sia possibile, si fa bollire il mercurio nella seguente maniera (fig. 88); si empie il tubo per un terzo di sua lunghezza, e si fa bollire a molte riprese in tutta questa estensione: poscia si rifonde nuova quantità di mercurio alquanto riscaldato acciò il tubo non scoppi, e si fa ricominciare l'ebullizione in tutta la lunghezza della nuova colonna; indi si aggiunge nuova quantità di mercurio, che si fa successivamente bollire fino a che l'ebullizione abbia percorsa tutta, o quasi tutta la lunghezza del tubo; allora si procçuri di empirlo interamente con mercurio bollito, ed il barometro è terminato. Giova intanto l'accertarsi se nel capovolgere il tubo, sia entrata in esso qualche poco di aria; e però conviene inclinarlo con un po' di destrezza acciò il mercurio vada ad urtarne la cima: sentendosi un colpo asciutto si giudicherà il vòto essersi fatto, nel caso contrario l'operazione non sarà riuscita.

Essendosi provveduto a tutto ciò, per avere l'al-

tezza del barometro, è mestieri generalmente fare due correzioni, una riguardante la *capillarità*, l'altra la *temperatura* alla quale trovasi il mercurio nel tempo della osservazione. Daremo nella meteorologia le tavole necessarie per fare le correzioni che dipendono da queste cause.

I barometri si distinguono in due specie, cioè in *barometri a sifone*, e *barometri a pozzetto*. I primi hanno il tubo curvato dalla parte inferiore a guisa di sifone (fig. 93), laddove negli ultimi il tubo è dritto ed immerso con un suo estremo in un pozzetto più o meno grande (fig. 92 e 101).

Il barometro comune è un barometro a sifone (fig. 93); accomodato sopra una tavoletta di legno; la scala delle altezze è per lo più di metallo; il zero della divisione è fisso, e trovasi al livello del mercurio nel braccio corto; questo livello variando al variar del barometro, ne nascono errori tanto più grandi, per quanto più stretto è il tubo del braccio corto. Talvolta la curvatura del sifone è di ferro, ed ha una chiavetta dello stesso metallo: in questo caso allorchè il barometro si voglia trasportare, s'inclina destramente in guisa da fare entrare il mercurio nel braccio chiuso, talchè lo riempia interamente, e poscia chiudendo la chiavetta si ha meno a temere che l'aria possa cacciarsi entro del tubo per le scosse che questo soffre nel viaggio (1).

Il barometro a quadrante di Jecker, è del barometro comune più comodo ed anche più esatto; questo è espresso dalle figure 98, e 100. Nel braccio aperto galleggia un pezzo di ferro cui è annessa una finissima lamina dentata *a*, i denti della quale s'intromettono in quelli di una ruota anche dentata *b* al cui asse mobilissima sia unito l'ago *c* che gira sulle divisioni del quadrante *d*; è cosa facilissima il graduare

(1) Ma la materia grassa della chiavetta suole sporcare il mercurio, per cui Gay-Lussac pensò di levare la chiavetta e di render per altro mezzo lo strumento portatile, come fra poco si dirà.

lo strumento in guisa, che la vera altezza del barometro in un dato istante si trovi scritta al punto ove arrestasi l'estremo dell'ago. Cotesto barometro convenientemente disposto e sospeso (fig. 99), diventa un *barometro marino*, che permette di far buone osservazioni su i vascelli, anche a costo delle oscillazioni.

73. *Il barometro del signor Gay-Lussac*, come ora si fabbrica dal signor Buntén, è usato esclusivamente da' viaggiatori, come quello che essendo molto esatto, è anche comodo per le osservazioni, e specialmente facile a trasportare: questo è espresso dalle figure 94, e 95: il braccio corto è perforato da un bucolino capillare *a* il quale dà comodamente adito all'aria, e non già al mercurio, donde segue potersi capovolgere senza temer, che il mercurio possa uscir-sene. Allorchè avendolo capovolto per trasferirlo, si raddrizzi per fare un'osservazione, non è a temere che l'aria si cacci nel braccio chiuso e giunga sulla colonna del mercurio, facendola discendere, perciocchè il signor Buntén v'ha rimediato con molto accorgimento, siccome apparisce dalla figura 96 (1). Le divisioni son segnate col diamante sul braccio aperto e sul braccio chiuso, e non sarà necessario fare alcuna correzione per la capillarità, perciocchè le due braccia hanno diametri eguali. Cotesto barometro va messo in un tubo o astuccio di latta (fig. 97).

74. *Barometro di Fortin*. — Il barometro di Fortin (fig. 101, 102, 103 e 104) è un barometro a pozzetto, si distingue dagli altri perchè è a livello fisso: questo livello è indicato dall'estremità di una punta di avorio; il pozzetto ha il fondo mobile; ha-

(1) I barometri da prima perfetti sogliono col tempo viziarsi perchè un poco d'aria trapelando tra le pareti del tubo e la superficie della colonna di mercurio, va ad occupare il vòto tanto necessario alla esattezza dello strumento. Or dando al tubo la disposizione rappresentata dalla figura 96 si evita questo inconveniente, perciocchè l'aria trapelando nel modo anzidetto resterà imprigionata nella parte rigonfia del tubo senza poter procedere oltre, e capovolgendo il barometro, essa uscirà nuovamente.

sterà il volger la vite o per un verso o per un altro per far discendere o montar su il livello del mercurio, e mentre si volge la vite si osserva l'immagine della punta d'avorio riflessa dalla brillante superficie del mercurio, ed agevole riesce di ridurre il livello al piano orizzontale corrispondente alla estremità della punta, e questa operazione convien che preceda ogni osservazione. Il tubo metallico entro del quale sta il tubo di vetro è aperto da due parti verso la cima, ed è segnato da divisioni computate dall'estremo dell'anzidetta punta, onde basterà diriggere tra le sopradette aperture un raggio visuale rasente la superficie della colonna, e vedere a quale divisione corrisponda. Ad evitare gli errori ne quali si potrebbe incorrere guardando alquanto sopra o sotto la linea orizzontale, avvi un corsoio *c* che scorre sul tubo metallico, aperto in una piccola porzione di sua lunghezza; l'apertura che sta dalla parte d'avanti dello strumento e l'opposta vanno a finire in due piani dello stesso livello, in direzione perpendicolare alla lunghezza del tubo. Il corsoio si fa scorrere fino a che il raggio visuale che passa rasente i piani suddetti, passi anche per la cima della colonna; allora non si dovrà far altro, che notare la divisione del tubo cui corrispondono gli anzidetti piani, il che riesce facilissimo, perciocchè in essi è il zero del nonio del corsoio. Si potrà per questo mezzo conoscere l'altezza con frazione non minore di $\frac{1}{50}$ di millimetro (1).

75. *Variazioni del barometro.* — Noi ignoriamo quello che avviene nelle alte regioni aeree; sulla superficie della terra osserviamo delle variazioni di temperatura, sovente periodiche, e spesso anche subitanee ed improvvise; veggiamo venti ed uragani, ma non ci è dato di poter giudicare de' moti dell'aria oltre di quell'altezza nella quale l'agitazione delle nubi ci rende

(1) Intorno al barometro dirò alcune altre cose nelle note alla meteorologia.

ancor possibile l'osservazione. Usando del barometro sapren quel che avviene in tutta l'altezza dell'atmosfera, perciocchè esso in ogni momento ci fa conoscere il peso della colonna d'aria, come se avessimo cotesta colonna equilibrata in una bilancia.

Dalle cose dette già si presume, in uno stesso luogo non restar punto il barometro stazionario nel corso di un anno, ma soffrire invece più o men grandi variazioni: e per fermo, a Parigi per esempio non passa un giorno senza che il barometro non varii di parecchi millimetri. Si sogliono generalmente distinguere due maniere di variazioni barometriche, cioè le variazioni *accidentali* e le *orarie*, queste con assai regolarità in date ore riproduconsi, e sono sempre della stessa grandezza, le altre intervengono senza serbare alcuna legge, in modo da non potersene antivedere la intensità, nè il tempo nel quale debbono accadere.

76. *Altezze medie.* — Non essendo le variazioni rapidissime, se alcuno si faccia ad osservarle di ora in ora, cioè per ventiquattro volte in un giorno, unisca insieme le ventiquattro altezze osservate, e poscia prenda di questa somma la ventiquattresima parte, avrà con molta esattezza l'*altezza media* del giorno, perciocchè avrebbsi quello stesso risultamento che s'avrebbe avuto se le osservazioni si fosser fatte di mezz'ora in mezz'ora, ed anche in ogni minuto. Ma ciascuno intenderà, che se fosse d'uopo assolutamente fare le ventiquattro osservazioni per avere l'*altezza media* di un giorno, non sarebbe al certo sperabile di ottenerla, tuttochè importantissima. Quale osservatore infatti potrebbe per anni interi tollerare una regolarità cotanto minuta e meccanica?

Fortunatamente il signor Ramond ha fatto conoscere con lunga serie di esperienze, esservi un ora del giorno nella quale l'altezza del barometro è, con grandissima approssimazione, l'altezza media giornaliera: cotesta ora corrisponde al mezzodì nei nostri climi. Laonde non è necessario fare ventiquattro osservazioni

al giorno, bastando il farne una con esattezza al mezzo giorno, la quale darà l'altezza che si domanda. S'intende poi di leggieri, con le trenta altezze medie giornaliere potersi avere l'*altezza media del mese*, e con dodici altezze medie mensili aversi parimente l'*altezza media dell'anno*.

Il signor Ramond ha anche dimostrato non potersi nei nostri climi distinguere nè misurare con precisione il singolare fenomeno delle variazioni orarie, se non si abbia anche cura di conoscere le medie mensili ed annuali corrispondenti a certe ore del giorno. E però gli osservatori che voglion adoperarsi in pro della scienza, quattro volte al giorno osservano il barometro, cioè sempre alle ore 9 del mattino, al mezzodì, alle 3 ed alle 9 della sera.

A Parigi l'altezza media non è la stessa in ogni anno, ma le variazioni che soffre son picciolissime: nello spazio di venti anni, cioè dal 1816 al 1835, la maggior differenza non è giunta a quattro millimetri; e la media generale si è trovata di circa 756 millimetri.

77. *Variazioni accidentali.* — Il barometro soffre nei nostri climi, ed in particolare verso il settentrione, delle continue oscillazioni, riducendosi or sopra or sotto dell'altezza media, e talvolta si vede soffrir delle improvvisi alterazioni per le quali ascende o discende per alcuni centimetri. La maggiore altezza cui sia montato una volta a Parigi è di 781 millimetri, e nella maggior depressione giunse una volta a 719, ed è da notare, questi estremi essersi avuti nello stesso anno, cioè nel febbrajo e nel dicembre del 1821.

Le variazioni del barometro dinotano un cambiamento presente nell'atmosfera; parecchi son di credere che queste predicano anche i cambiamenti futuri, e che sapendosi consultar bene il barometro, si possa molti giorni prima con certezza annunziare la pioggia ed il buon tempo: è questa una quistione di meteorologia la quale discuteremo altrove. Darem per ora la

misura di un altro effetto, cioè della differenza di pressione che soffriamo per le variazioni barometriche. Coste pressioni si ricavano dal seguente quadro.

ALTEZZA del barometro in millimet.	PRESSIONE sopra un metro quad. in chilogr.	ALTEZZA del barometro in millimet.	PRESSIONE sopra un metro quad. in chilogr.	ALTEZZA del barometro in millimet.	PRESSIONE sopra un metro quad. in chilogr.
500mm	6795 ^{ch.}	600mm	8152 ^{ch.}	700mm	9510 ^{ch.}
510	6929	610	8287	710	9646
520	7065	620	8423	720	9782
530	7201	630	8559	730	9918
540	7336	640	8695	740	10054
550	7472	650	8831	750	10189
560	7608	660	8967	760	10325
570	7744	670	9105	770	10461
580	7880	680	9238	780	10597
590	8016	690	9374	790	10733

Si vede dunque che essendo il barometro a 780 millimetri, una superficie di un metro quadrato è premuta da 10597 chilogrammi, e che questo enorme peso è ridotto a 9782 chilogrammi allorchè il barometro scende a 720; laonde la superficie del nostro corpo essendo di circa un metro quadrato, venghiamo in questo caso sgravati di un peso di 815 chilogrammi. Una causa cotanto energica dovrà sicuramente operare considerevoli effetti sopra tutte le funzioni fisiologiche, ed in particolare sopra i fenomeni della respirazione e della circolazione; ma cotesti effetti sono generalmente così intrigati, che sarebbe mestieri di numerose esperienze per distinguerli.

Sul Monte d' Oro ed alla posta del monte Cenisio l'altezza del barometro suole essere di 600 millimetri circa. Un viaggiatore dunque il quale parte dal lido del mare ed ascende su queste montagne, è sgravato di un peso di 2173 chilogrammi, e lo sarebbe di 3539

se montasse ad un' altezza nella quale il barometro segna 500 millimetri, il che avviene presso a poco sulla cima dell' Etna e del monte Libano. Ognun sa ciò che vien narrato dai viaggiatori intorno alle insolite sensazioni che si soffrono sulle alte montagne ove il barometro si tiene a 400 o 500 millimetri. Vedesi il viaggiatore circondato da orizzonte vastissimo, si sente da enorme peso sgravato, e respirando un aria pura e leggiera, gli sembra di non appartenere più alla terra.

Le variazioni accidentali del barometro non sono egualmente grandi in tutt' i climi, nè a tutte le altezze, ed i limiti tra i quali soglion queste avvenire sono fra loro più lontani per quanto maggiore è la latitudine. Fin dal 1690, il padre De Beze avea osservato, a Pondichieri ed a Batavia, il barometro rimanere invariabile, anche ne' tempi delle più forti tempeste: confirmava poi Legentil coteste osservazioni; ed ora è dimostrato, non variare il barometro al sopravvenire dei disquilibri atmosferici, ma invece appalesare regolari e periodiche variazioni, le quali perciò, variazioni orarie sono chiamate.

78. Verso il 1722 furon le *variazioni orarie* esattamente conosciute mercè le osservazioni di un olandese del quale s' ignora il nome. Posteriormente parecchi osservatori sonosi adoperati a determinare la grandezza ed i periodi di coteste variazioni per diversi luoghi della terra. Il signor Humboldt con una lunga serie di preziosissime osservazioni ha dimostrato, sotto l' equatore aversi la massima altezza alle ore 9 del mattino; indi il barometro discendere fino alle ore 4 ed anche fino alle 4 $\frac{1}{2}$ dopo il mezzogiorno, nel qual tempo segna la sua altezza minima; ascender di poi fino alle ore 11 della sera, tempo in cui segna un secondo massimo, e discender poscia nuovamente sino alle quattro del mattino. Laonde in ogni giorno passa pe' due minimi alle ore quattro del mattino ed alle ore quattro della sera, e pe' due massimi alle 9 del mattino ed alle 11 della sera. I moti di elevazione, e di abbassamento

sou si regolari che potrebbero come il moto dell'orologio, essere adoperati per indicare le ore, se non fosse troppo breve il loro spazio, giacchè, secondo le misure di Humboldt, tra il punto di altezza massima del mattino e quello di altezza minima dopo il mezzo giorno passa l'intervallo di due millimetri.

Ne' nostri climi coteste variazioni orarie sono talmente confuse colle variazioni accidentali, che per ravvisarle e misurarle sarebbe mestieri di tutta la sagacia e di tutta la precisione di un'osservatore come il signor Ramond. Mercè le osservazioni di molti mesi fatte con precisione in ore opportune, si può solo giungere a conoscere i periodi orari. Il signor Ramond ha conosciuto che le loro epoche variano colle stagioni. Nell'inverno il massimo corrisponde alle ore nove del mattino, ed il minimo alle tre dopo il mezzogiorno, ed il secondo massimo alle nove della sera.

Nella state il massimo avviene pria delle ore otto del mattino, il minimo alle ore quattro dopo del mezzogiorno, ed il secondo massimo alle undici della sera.

In primavera ed in autunno le ore *critiche* sono intermedie, avvicinandosi più o meno a quelle della state o del verno, e le variazioni hanno limiti alquanto più angusti di quelli dell'equatore. Nelle maggiori latitudini è mestieri paragonare, e mettere in disamina maggior numero di osservazioni, affin di ricavarne i periodi orari, ma intorno a ciò la scienza ha molto a desiderare.

79. *Legge di Mariotte.* — La legge di Mariotte è la legge della compressibilità dei fluidi elastici; essa può enunciarsi così: *I volumi de' gas sono in ragione inversa delle pressioni che soffrono.* Per dimostrar coll'esperienza questa fondamentale verità, prendasi un tubo ricurvo (fig. 105) il cui braccio corto sia cilindrico e chiuso nell'estremo superiore, restando aperto il braccio lungo per ricevere la pressione atmosferica. Vi si versi da prima poca quantità di mercurio; poscia inclinando il tubo per far uscire una por-

zione d'aria dal braccio corto si giungerà finalmente a ridurre il mercurio allo stesso livello dall'una e dall'altra parte. In questo caso l'aria contenuta nello spazio ab trovasi precisamente sotto la pressione atmosferica; e se partendo da questo punto si riduca l'aria alla metà, alla terza, o alla quarta parte della lunghezza ab , il suo volume sarà anche ridotto alla metà, al terzo o al quarto, perciocchè il tubo è cilindrico. Per ridurre in tal modo i volumi, si versi del mercurio entro il braccio aperto fino a che la cima della piccola colonna giunga al punto m che è nel mezzo della lunghezza ab ; questo punto m , ed il corrispondente punto n del braccio grande soffrono la stessa pressione, perciocchè sono allo stesso livello; cotesta pressione è di due atmosfere, perciocchè ella si compone del peso della colonna ns , la quale trovasi sempre eguale in altezza alla colonna barometrica, e della stessa pressione atmosferica la quale opera ancora sulla parte superiore della colonna. Dunque mercè una doppia pressione il volume dell'aria contenuto nel braccio corto si è ridotta alla metà. Dando allo strumento il braccio aperto molto più lungo, nella stessa guisa dimostrasi esser mestieri d'una pressione di tre atmosfere per ridurre il volume al terzo, e di quattro atmosfere per ridurlo al quarto, di quel che era sotto una sola pressione atmosferica. Tra questi limiti la indicata legge si applica a tutti i casi. Ma i signori Arago e Dulong han dimostrato essa aver luogo per l'aria senza alcuna variazione fino a 27 atmosfere. Ecco il mezzo da essi adoperato per rendere aperta questa verità.

Gli apparati si posero nel collegio di Enrico IV in un' antica torre quadrata nel centro della quale erasi potuto facilmente piantare una grande asta di legno alta circa cento piedi. Verso la base di questa era un vase metallico, con un manometro (1), ed una tromba prememente, e nell' altezza dell' asta medesima un tubo di

(1) V. manometro, poco appresso.

vetro la cui lunghezza era tra 75 ed 80 piedi (esso era composto di 13 tubi di sei piedi, giunti per dritto l'uno dopo l'altro).

Si potrà acquistare un'idea di tutto ciò volgendo uno sguardo alle figure 111, 112 e 113 della tavola 5

v è il vase metallico,

p , la tromba premente,

mn , il manometro fisso dalla parte superiore, della medesima

t , il tubo verticale aperto di sopra,

a , la grande asta a costò alla quale il tubo s'innalza.

Se si supponga, 1°. che il vase metallico contenga del mercurio, 2°. che il tubo del manometro sia graduato e contenga dell'aria asciutta, 3°. che il mercurio si elevi alla stessa altezza del tubo del manometro e nel tubo verticale t , è chiaro trovarsi l'aria sotto la pressione di un'atmosfera, e conoscersi il volume che occupa sotto tale pressione. Se stando così le cose si dia moto alla tromba premente per introdurre dell'acqua sulla superior superficie del mercurio contenuto nel vase anzidetto, si produrranno delle pressioni ognor crescenti sull'aria asciutta del manometro; ed in pari tempo il mercurio successivamente monterà su nel tubo verticale. Finalmente per conoscere in ogni momento il volume dell'aria compressa, basterà osservare con precisione la lunghezza che occupa nel tubo del manometro computata dall'estremo chiuso, e per conoscere la corrispondente pressione basterà misurare la differenza di livello del mercurio nel tubo del manometro e nel tubo verticale.

Ognuno intenderà esser d'uopo per tali sperienze di tutta quell'abilità della quale i signori Arago e Du-Long han dato tante pruove, con le loro belle scoperte fatte in tutt' i rami della fisica. Sarebbe per noi impossibile di qui descrivere con tutte le particolarità, la perfezione con la quale le diverse parti della macchina eran disposte, e tutte le giudiziose precauzioni

che furon prese per ottenere risultamenti sicuri. Ci farem solo ad indicare alcune più necessarie disposizioni della tromba premente del tubo verticale e del manometro.

Tromba premente. — Non solo era d'uopo che la tromba premente fosse molto ben fatta da potere introdurre l'acqua sotto una pressione di 27 atmosfere, ma era benanche mestieri che essa tenesse perfettamente l'acqua introdotta, acciò le cime delle colonne di mercurio nel tubo verticale e nel manometro fisse rimanessero. E ciò si conseguiva mercè l'animella *b*, posta dove lo stantuffo finiva di scendere (fig. 113).

Tubo verticale. — Era questo composto di 13 tubi di cristallo ciascuno lungo 2 metri, aventi l'interno diametro di 5 millimetri, ed altrettanto di grossezza; siffatti tubi erano uniti mercè alcune forti ghierre, siccome si vede in *c* nella figura 113, e più particolarmente nella figura 111. La lamina orizzontale *h* serve per segno; una simile ve ne ha nella inferior parte di ciascun tubo, e si misura la distanza tra due segni consecutivi ponendo sull'inferiore un regolo diviso *r*, e spingendo una linguetta *l* fino a che essa riducasi al piano del segno superiore. Affinchè i tubi di sotto non fosser da quelli di sopra soverchiamente premuti, si badò di ligare verso la parte di sopra di ciascun tubo de' funicoli i quali pendevano verticalmente in giù dopo di esser passati sopra certe carrucole, ed erano gravati da pesi eguali a quelli dei tubi (fig. 113). In tal guisa la colonna non premeva per niente in sulla base.

Manometro. — Il tubo del manometro era a quelli della colonna verticale perfettamente simile: era soltanto assottigliato verso la parte superiore, graduato con molta cura, senza farvi sopra alcun segno col diamante per non indebolirne la resistenza, e poi accomodato sulla piastra *e* del vaso metallico. Indi erasi fatta passare per entro al medesimo una corrente d'aria asciutta, e finalmente erasi chiusa alla lucerna la

cima assottigliata, senza far soffrire alla scala, una sensibile variazione. Nella *figura 112* si vede come l'estremo inferiore del tubo del manometro è accomodato sulla lamina e del vase metallico; uopo è avvertire che la ghiera si ripiega sotto la grossezza del tubo per impedire che la pressione lo innalzi. Acciò l'aria del manometro serbasse sempre la stessa temperatura, il tubo era circondato da un cilindro di vetro entro del quale l'acqua continuamente scorrea. Da ultimo per potere esattamente ravvisare il termine superiore della colonna di mercurio, dalla parte interna del cilindro erasi posto un ordigno α portante una lente, la quale si faceva salire e scendere mercè un arganello η , sul quale era avvolto un filo di seta il quale passava sulla girella superiore γ , sulla inferiore z , e ligavasi al contorno dell'ordigno anzidetto.

Alcuni termometri convenientemente ordinati faceano in ogni tempo conoscere la temperatura delle varie parti dello strumento; e due barometri, situati l'uno sopra e l'altro sotto, servivauo a far conoscere la pressione atmosferica corrispondente alla cima ed alla base della colonna verticale.

Son questi i mezzi adoperati per dimostrare la legge di Mariotte fino a 27 atmosfere, e potrà dirsi con ragione, estendersi senza alterazione sensibile almeno fino a 50.

Essendo la densità de' corpi in ragion reciproca de' volumi che occupano, la legge di Mariotte si potrà anche enunciare dicendo, *essere le densità de' gas proporzionali alle pressioni che soffrono*. La densità dell'aria sotto una sola pressione atmosferica essendo circa la 770^{ma} parte della densità dell'acqua, ne segue, dover essere l'aria densa quanto l'acqua sotto la pressione di 770 atmosfere. Laonde entro del mare ad una profondità eguale a 770 volte dieci metri ovvero a 7700 metri, che fanno circa due leghe, l'aria sarebbe dell'acqua più pesante, e quindi quantunque ancor sotto forma gassosa non potrebbe venirne alla superficie. Ma

non si ha finora alcuna ragione per dir che si trovi l'aria nel fondo del mare come nessuna ve ne ha per dire, che si trovi un liquido al disopra dell'aria.

Due volumi occupati successivamente da un gas, e le due corrispondenti pressioni, son quattro quantità costituenti una proporzione inversa, e però essendone date tre, si potrà sempre rinvenire la quarta. Dicasi lo stesso di due successive densità, rispetto a' due corrispondenti volumi, o alle due pressioni.

80. *Della macchina pneumatica.* — La macchina pneumatica serve a fare il vòto; essa è composta di due trombe cilindriche simili a quella rappresentata in *a* (fig. 106), *b* è uno stantuffo che sale e scende mercè l'asta *c*; ma in tutte le posizioni *mantiene il vòto*, cioè tra la sua superficie e la interna parete del cilindro non passa aria o altro fluido.

s è l'animella dello stantuffo; questa è leggerissima ed apresi di sotto in sopra, apresi quando la pressione inferiore è della superiore alquanto più forte, e e nel caso contrario perfettamente si chiude.

L'asta lunga *cd* fa nella tromba l'ufficio di animella (1), la quale si apre e si chiude mercè il moto dello stantuffo, perciocchè quando questo ascende la innalza, la parte rigonfiata *d* è trattenuta dalla lamina superiore della tromba, e lo stantuffo scorre a strofinio stretto sulla intera lunghezza dell'asta; quando scende poi la trae seco, ed il cono tronco *e* si caccia nel sottoposto forame conico in modo che la sua base forma col fondo della tromba un solo piano, sul quale va lo stantuffo a combaciare.

Il *meato* della macchina prende origine dal fondo dell'apertura conica, esso giunge fino a *p* ove termina a vite, per poter ricevere sfere, recipienti ed ogni altra maniera di vasi dai quali si voglia estrarre l'aria.

p è il piano della macchina pneumatica, il medesimo è formato da una grossa lamina metallica sulla

(1) Animella, volgarmente *valvola*.

quale è incollato un piatto di vetro ayente parecchie linee di grossezza , perfettamente spianato e leggiermente forbito nella faccia di sopra.

h è una *campana* , nella quale si fa il vòto , essa ha l'orlo inferiore anche spianato e forbito, acciò possa coll' anzidetto piano perfettamente combaciare. Una lieve spalmatura di sevo serve per accrescere l'adesione, perciocchè è mestieri assolutamente che l'aria esterna non penetri tra la campana ed il piano.

Supponiam che lo stantuffo si trovi alla metà del suo cammino , che le animelle sian aperte , e che l'aria nella campana, nel meato, e nella tromba sia alla pressione atmosferica ; facendo scendere lo stantuffo la seconda animella si chiude, e l'aria della tromba non può rientrare nella campana ; essa uscirà per la prima animella , e quando lo stantuffo giungerà al fondo della tromba , non ve ne resterà alcun poco. Innalzando allora lo stantuffo , se le animelle si tenesser chiuse si farebbe il vòto , ma siccome la seconda animella si apre , così l'aria della campana va a riempire il vòto, e la seconda animella si tien chiusa con l'alzar dello stantuffo , perciocchè la interna pressione è sempre della esterna minore : se , per esempio , la capacità della tromba sia la decima parte di quella della campana e del meato , passerà nella tromba $\frac{1}{11}$ di tutta l'aria che si deve estrarre per fare il vòto. Facendo scender di nuovo lo stantuffo , la seconda animella si chiude, e l'aria sempre più si comprime, ma tosto si giunge al punto in cui la sua elasticità vince quella dell'aria esterna , allora essa apre la prima animella e sen va nell'atmosfera. Un altro colpo di stantuffo farà anche uscire $\frac{1}{11}$ dell'aria rimanente , e così , continuando questi moti alternativi , ogni colpo farà uscire $\frac{1}{11}$ del residuo , poi $\frac{1}{11}$ del residuo , e così appresso. D'onde si fa aperto non potersi mai fare il vòto perfetto, perciocchè col prendere l'undicesima parte di qua quantità, e poi l'undicesima parte de' successivi residui non si

giungerà mai a prenderla tutta. Ciò non pertanto si giungerà a render l'aria della campana sì poco elastica, che può giungere fino ad avere la forza di due millimetri. La prontezza dell'operazione dipende dalla ragione che passa tra la capacità della tromba e quella della campana. Se questa ragione sia conosciuta, si potrà facilmente calcolare quanti colpi di stantuffo saranno necessari per ridurre l'aria ad una determinata forza elastica; e quindi si potrà, mercè la legge di Mariotte, calcolare il peso dell'aria rimasta, se si conoscea il peso del primitivo volume.

Allorchè si è fatto il vòto, la pressione che l'aria esercita sullo stantuffo non essendo più contrariata da alcuna interna pressione, ne seguirà, esser necessario uno sforzo di $1^{\text{a}}, 033$ per ogni centimetro quadrato della superficie dello stantuffo, per inalzarlo, oltre allo sforzo necessario per vincere l'attrito. Si proverebbe ad innalzare uno stantuffo di un decimetro di raggio, una resistenza eguale a quella che ci si opporrebbe da un peso di circa 300 volte $1^{\text{a}}, 033$, ovvero più di 600 libbre. Ma nelle macchine a due trombe e due stantuffi, queste pressioni scambievolmente distruggonsi, e però si deve solo superare l'attrito.

L'intera macchina pneumatica è espressa dalla *figura 107*. Le aste degli stantuffi sono dentate, ed i loro denti s'intromettono in quelli di uno stesso rocchetto: allorchè uno degli anzidetti stantuffi sale, l'altro scende, ed il loro moto alternativo è prodotto da quello di un manubrio.

La *chiave* della macchina espressa separatamente in *y*, è una chiavetta con un'apertura solita ed un'altra *laterale*; quest'ultima è conica e si chiude mercè un turaccio metallico *b*. Quando la macchina deve mantenere il vòto, si volta l'apertura laterale verso le trombe; e verso la campana quando si vuole far entrare l'aria, e poi si trae fuori il turaccio metallico.

Il barometro che in ogni momento indica la forza

elastica dell' aria nella campana, si chiama *provino* (1). Alcune volte è un intero barometro (fig. 107), ma più spesso è un barometro troncato. In quest' ultimo caso il provino è chiuso in una campana lunga e stretta *r* (fig. 100), che comunica col meato della macchina, la quale comunicazione s' interrompe e si rimette mercè una chiavetta. La *figura 115* rappresenta un provino isolato di 7 pollici, il quale perciò non comincia ad abbassarsi, se non quando la pressione dell' aria sia ridotta alla quarta parte della pressione atmosferica; partendo da questo punto, esso dà in ogni momento la pressione dell' aria della campana, mercè la differenza delle due altezze del mercurio. Allora che si fa rientrare l' aria nella campana, la pressione che tosto succede spinge con forza il mercurio nel braccio chiuso, e però sarà utile il far che questo sia terminato da una strozzatura, acciò non sia rotto dall' urto.

Si dee al signor Babinet un ingegnoso perfezionamento della macchina pneumatica, indicato nella *figura 108*, il quale ci dà l' agio di avere un vòto con pressione di un millimetro almeno. La chiavetta *r* posta tra le due trombe un poco al disopra del fondo delle stesse, ha quattro aperture *s, t, v, u*. La prima è la seconda passano da una parte all' altra, e son tra loro perpendicolari, la terza *v* penetra sòlo della metà la chiavetta, e la quarta *u*, la quale è diretta secondo la lunghezza, comunica con le aperture *t*, e *v*. Nel fondo della tromba *a* avvi un meato curvo, il quale prende origine dal buco dell' animella conica, e finisce in *b*, e *c*, nella cavità della chiavetta *r*; nel fondo della tromba *d* vi son due meati, l' uno che ha origine dal buco dell' animella conica, e termina in *e*, l' altro che prende origine dal fondo della tromba, e va a terminare in *g*. Nella posizione espressa dalla *figura*, elevando lo stantuffo *a*, si fa in pari tempo il vòto sotto la cam-

(1) Si suol dire anche *provetta*.

Si avverta, che la forza elastica de' gas è comunemente detta *tensione*.

pana mercè il canale *un*, e sotto lo stantuffo *d* mercè l'altro canale *gsc*, e quindi s'ingenera equilibrio di elasticità tra la tromba *d*, e la campana; ma se si volga la chiavetta *r*, per un quarto di giro, i buchi *c* e *g* si chiuderanno, il canale *t* si ridurrà innanzi alle aperture *b* ed *e*, e la macchina opererà secondo il solito. Onde portando la chiavetta *r* nella prima giacitura mentre lo stantuffo *a* si eleva, e nella seconda quando si abbassa, si dovrà ottenere un vòto più perfetto di quello che avrebbersi con le macchine comuni.

La macchina pneumatica fu inventata nel 1650 da Ottone da Guerrike, borgomastro di Magdebourg, la medesima fu poco dopo da molti fisici renduta migliore. Hook pose la tromba in direzione verticale, Papin vi aggiunse il piano, Hawksbec ridusse le trombe a due, laddove prima eravene una sola, e poscia furono variamente le animelle formate (1).

Ottone da Guerrike fece con la sua macchina la piacevole sperienza degli emisferi di Mademburgo, la quale consiste a fare il vòto in un globo di metallo le cui metà siano solo combaciate fra loro. Pria di fare il vòto i due emisferi possonsi agevolmente separare, ma tostochè entro di questi non siavi più aria che possa opporsi alla pressione dell'aria esterna, questi si tengono sì fortemente stretti che la forza di un uomo non giunge a separarli. È per fermo se la sezione degli emisferi abbia un sol decimetro di raggio ovvero intorno a 300 centimetri quadrati di superficie, la esterna pressione che gli unisce equivale a più di 300 chilogrammi. Suolsi porre una striscia di cuoio

(1) Infatti l'animella conica della quale parla l'Autore non si rinviene in moltissime macchine pneumatiche del Dollond, di Nairne e di altri valenti artisti, nè pare che quell'asta che penetra lo stantuffo possa per lungo tempo chiudere sì bene il buco del medesimo da non dar passaggio all'aria. Ha però questa maniera di animella un vantaggio sulle comuni, il quale consiste nel far passare l'aria dalla campana nella tromba anche quando sia rarefatta moltissimo, nell'atto che standovi un animella comune, l'aria finirebbe di entrare nella tromba quando la sua forza elastica più non sia sufficiente ad aprire l'anzidetta animella.

alla giuntura degli emisferi per far che meglio si tocchino ; deve poi esservi una chiavetta la quale si apre quando l'aria deve uscire e si chiude per non farla rientrare (1) (fig. 122).

La macchina pneumatica serve per molte esperienze che far si possono intorno alle pressioni, ed alle proprietà de' corpi organici ed inorganici.

Si dimostra, per esempio, i corpi in combustione spegnersi nel vòto ; il fumo cadere come una massa pesante ; nell' acqua esservi l'aria in dissoluzione ; rimanere alcun poco d'aria tra le pareti de' vasi e le superficie de' liquidi contenuti in essi, il che si rende aperto da una moltitudine di bollicine le quali si mostrano più grandi secondo che la pressione si va facendo minore ; si vede anche bollire l'acqua fredda, alcuni insetti vivere per molti giorni nel più perfetto vòto della macchina ; le sostanze capaci di fermentazione mantenersi inalterate ec. ec. Su quest'ultima proprietà riposa il metodo del signor Appert per conservare i comestibili. Il quale ritrovato eseguito in grande ne' porti di Francia e d'Inghilterra, rende i maggiori servizi alla marina : abbiamo dopo sedici anni aperti de' vasi preparati e vi abbiain rinvenuti i comestibili freschi, quasi fossero di un giorno.

81. *Macchina di compressione.* — La macchina di compressione (fig. 108) è ordinata a comprimer l'aria. Essa è composta di due trombe simili a quelle della macchina pneumatica, le quali differiscono solo nelle animelle che apronsi per lo verso opposto, cioè di sopra in sotto. Scendendo lo stantuffo, preme l'aria e la fa passarè nel recipiente, alzandosi poi, l'aria estrema apre la prima animella ed entra nella tromba

(1) La striscia di cuoio non è necessaria quando le sezioni siano bene appianate, anzi i due emisferi restano fra loro fortemente uniti anche dopo che l'aria sia in essi rientrata, e ciò perchè toccandosi esattamente le sezioni, si ha tuttavia un'eccesso di pressione dall'aria esterna, e si appalesa anche fra i piani delle sezioni quella maniera di attrazione che si è detta di contatto, ed anche di superficie. Infatti facendo rientrare l'aria negli emisferi che ho nel mio gabinetto i quali hanno 6 centimetri di raggio, non basta la forza di due persone a separarli.

nell'atto, che l'aria compressa del recipiente preme la seconda animella mantenendola chiusa; scendendo finalmente di bel nuovo lo stantuffo, la prima animella chiuderassi, e l'aria man mano comprimendosi giungerà ad aprire la seconda, ed entrerà nel recipiente; e così appresso.

Il provino della macchina di compressione è un tubo dritto chiuso da una parte ed immerso con l'altra in una vaschetta di mercurio. Nel cominciare l'esperienza l'aria contenuta nel tubo e sotto una sola pressione atmosferica, ed il mercurio tanto dentro quanto fuori del tubo si tiene allo stesso livello: secondo che la pressione cresce, il mercurio ascende nel tubo, ed il volume dell'aria contenuta in esso riducesi successivamente alla metà; alla terza, o alla quarta parte di quello che era; e per la legge di Mariotte si potrà giudicare, esser quest'aria premuta da due, da tre, o da quattro atmosfere. La pressione nel recipiente è maggiore di quella nel tubo per quanto è la colonna del mercurio che riman sollevata al di sopra dell'esterno livello.

82. *Avvi delle trombe di compressione* le quali soglionsi invitare sopra diversi vasi per comprimervi l'aria; in questo caso esse son solo composte di un corpo di tromba e di uno stantuffo senz'animella. Il corpo di tromba offre tre particolarità (fig. 116); 1°. ha una vite verso la parte inferiore; 2°. ha un'animella alla quale lo stantuffo sempre più si avvicina allorchè discende; 3°. verso la parte di sopra è forato da un piccol buco *t* (fig. 120) il quale è sempre aperto e fa intanto le veci di animella, perciocchè trovasi or sopra or sotto dello stantuffo.

Alcune volte in vece di un piccol buco si fa una ra animella lateralmente al corpo di tromba (fig. 116), questa disposizione può esser utile a comprimere qualunque gas, facendo perciò comunicare il tubo dell'animella col serbatojo entro del quale il gas ritrovasi.

83. *Misura delle pressioni de' gas contenuti in*

diversi recipienti. — La pressione de' gas per due mezzi generalmente misurasi, cioè per mezzo delle colonne liquide, o delle animelle. Gli strumenti a colonna liquida diconsi *manometri*; le animelle generalmente diconsi *valvole di pressione*, e *valvole di sicurezza* poi se ad impedire le esplosioni sono ordinate.

Valvole di pressione. — Coteste animelle sono di forma e di grandezza assai varie: sono talvolta de' coni tronchi (fig. 110, *a* e *b*); talvolta riduconsi semplicemente ad un piano che combaci con molta giustezza sulle pareti dell'apertura (fig. *c*). In ogni caso esse debbon perfettamente chiudere fino a che non vengano alzate. Per poter valutare la elasticità del gas capace ad alzarle, è mestieri conoscere due cose: 1.^a tutto il peso che preme sull'animella; 2.^a la superficie della medesima, sulla quale la pressione verticale del gas si opera. Supponiamo che il peso venga stimato in chilogrammi, ed in centimetri quadrati la superficie premuta: se il peso, per esempio, sia di 100 chilogrammi, e la superficie di 25 centimetri, ogni centimetro quadrato sosterrà 4 chilogrammi; dunque da quel che innanzi dicemmo (§ 34), il numero delle atmosfere è eguale a $\frac{4}{1.033}$ ovvero a 3", 87, oltre alla ordinaria pressione atmosferica che anche si opera sull'animella. Questo metodo vale pe' liquidi e pe' gas; esso è adoperato per mettere a pruova i tubi de' condotti, ed i cilindri delle macchine a vapore.

Manometri. — Il nome di manometro fu dato dal Varignon ad uno strumento da lui adoperato per misurare la rarefazione dell'aria. Frattanto dicesi *manometro* ogni strumento a colonna liquida ordinato a misurare le pressioni. Il barometro misura la libera pressione dell'atmosfera; il manometro misura la pressione de' fluidi contenuti negli spazi chiusi. Il provino della macchina pneumatica e quello della macchina di compressione son veri manometri. Ciò non pertanto negli strumenti di questa natura si può fare qualche distinzione.

La figura 124 esprime un manometro per mezzo del quale misurasi la forza elastica de' gas contenuti nella sfera *b* : esso fu adoperato prima da Sausurre, poi da Bérthollet, nelle importanti ricerche fatte da questi intorno alla vegetazione ed a' fenomeni de' corpi dotati di vita. Le piante e gli animali venivan chiusi entro la sfera.

I *tubi di sicurezza* son manometri i quali indicano la forza di espansione de' gas contenuti ne' recipienti a' quali sono essi adattati. Allorchè la tensione è eguale alla pressione atmosferica, il liquido tiensi allo stesso livello in ambo le braccia (Fig. 114); e generalmente poi la differenza di pressione è misurata da quella di livello; conoscendo la densità del liquido contenuto nel tubo si può in millimetri di mercurio valutare la differenza di pressione.

I *tubi di sicurezza* furono inventati da Welter: essi sono di un uso frequente in chimica, perciocchè impediscono le *esplosioni* e gli *assorbimenti*. Allorchè la interna pressione divien troppo debole, l'aria atmosferica spinge il liquido nella sfera ed entra nel recipiente: quando al contrario è troppo forte essa caccia la colonna liquida e trova nel tubo uno sfogo.

Nel caso di pressioni fortissime si fa uso di un manometro simile a quello della macchina di compressione.

Archibugio pneumatico (fig. 117, 118, 119, 120).

— Basta nominare questa macchina per intendere come sia congegnata. Il suo calcio contiene un serbatoio con animella nel quale si comprime l'aria sotto una pressione di otto o dieci atmosfere: vi si unisce una canna nella quale si pone il proiettile; e che ne dirige il moto. Si fa scoccare un *grilletto* il quale premea l'animella: allora l'aria esce con impeto, urta la palla, e tosto l'animella si chiude. Si posson tirare più o meno colpi l'uno dopo l'altro secondo che il serbatoio sia più o meno grande. Lo schioppo ad aria può lanciar le palle con velocità pari a quella con la

quale queste sono dagli schioppi a polvere lanciate. Nè senza rumore e senza fiamma cotesto effetto producesi; imperciocchè l'aria compressa, in un attimo espandendosi, fa un'esplosione simile a quella del crepa-vescica; e verso la punta della canna vedesi spesso uscir la fiamma, la quale sarà forse prodotta dallo sfregamento delle tenui polveri solide che l'aria incontra e trae seco, perocchè in un'aria purissima, fiamma non si ravvisa.

CAPO VII.

Dell'equilibrio de' corpi galleggianti, e de' corpi immersi ne' fluidi.

85. V'ha de' corpi ponderabili, i quali muovonsi in direzione opposta a quella della gravità: il suvero, il legno e parecchi altri corpi ascendono se sono immersi nell'acqua; il ferro similmente ascende se s'immerga nel mercurio; il fumo ascende nell'aria, le nubi si tengon librate nell'atmosfera; quasi nella stessa guisa che le navi si tengon galleggianti sulla superficie delle acque. Tutti questi fenomeni, del pari che quelli dell'*areostatica*, e dell'ascensione de' palloni dipendono da un solo principio, conosciuto sotto il nome di *principio di Archimede*, perciocchè Archimede ne fu l'inventore. È fama d'aver egli per questa scoperta provato un piacere sì grande, che uscendo del bagno corresse per le strade di Siracusa gridando: *l'ho trovato, l'ho trovato*.

86. Il *principio di Archimede* può essere enunciato così: *un corpo immerso in un fluido, vi perde una parte del suo peso, eguale a quello del fluido spostato*.

Per farsi una prima idea di questo principio generale, figuriamoci un gran vaso pieno d'acqua, e nell'acqua, un cubo le cui facce di sopra e di sotto siano orizzontali. Da' principi d'idrostatica si rende a-

però: 1°. le pressioni laterali essere eguali ed opposte, e scambievolmente distruggersi; 2°, la superficie superiore soffrir di sopra in sotto una pressione eguale al peso della colonna liquida che sta sopra di essa; 3°. la superficie inferiore soffrire di sotto in sopra una pressione eguale al peso della colonna liquida che starebbe sopra di essa, se il cubo fosse anch'esso d'acqua. Questa seconda pressione supera la prima per quanto è il peso della colonna liquida che il cubo scaccia; il cubo dunque è spinto in alto con forza eguale a quest'eccesso di pressione, dunque finalmente esso perde una parte di suo peso eguale al peso del volume del liquido scacciato.

La pressione di sotto in sopra diminuita della pressione di sopra in sotto dicesi *spinta del fluido*. Un corpo adunque immerso è spinto da due forze contrarie; dal suo peso che tende a farlo discendere, e dalla spinta del fluido che tende a farlo ascendere. Se queste forze siano eguali il corpo si terrà in equilibrio, ed avrà perduto tutto il suo peso. Se la spinta del fluido è la forza maggiore, il corpo sarà menato fin sulla superficie. Se questa finalmente è minore, il corpo scenderà al fondo del vase. Questa proposizione puossi direttamente dimostrare con la bilancia idrostatica la quale altro non è se non una bilancia comune ordinata a pesare i corpi tenendoli nell'aria e poi tosto immergendoli in un fluido. *c* (fig. 123) è un cilindro vòto di rame la cui capacità si empia esattamente dal cilindro messiccio *p*; si pongono insieme in una delle cappe della bilancia, e nell'altra si pongon dei pesi *d* per ottenere l'equilibrio. Fatto tutto ciò riducesi la bilancia in quiete, ed il cilindro *p* si fa immergere in un vase pieno d'acqua, si troverà avere il cilindro perduto parte del suo peso, perciocchè pesato questa seconda volta non è più in equilibrio. Allora versando dell'acqua nel cilindro *c* riempiendolo esattamente, si avrà di nuovo l'equilibrio; dunque immergendo nell'acqua il cilindro *p* perde una parte di suo peso eguale al peso del liquido che scaccia.

Ecco un'altra dimostrazione del principio di Archimede la quale non dipende affatto dalla figura del corpo immerso.

Entro una massa fluida figuriamoci un volume qualunque, una sfera, per esempio, la quale abbia un metro di raggio. Supponiamo che le molecole d'acqua che son comprese in cotesto volume si consolidino per un momento, cioè che formino una sfera solida in vece di una liquida e che nel consolidarsi non si avvicinino nè si allontanino fra loro; ma che conservino le posizioni e le distanze di prima. Egli è chiaro, questa sfera solida dover rimanere in quiete come lo era la sfera liquida; conciosiacchè l'adesione che noi poniam tra le molecole non può nè sostenerle nè farle cadere, essa non induce variazione alcuna nè alle pressioni, nè alla gravità. Questa sfera solida e pesante ha perduto dunque tutto il suo peso, perciocchè essa non cade; e lo ha perduto perchè è circondata da un fluido che da tutte parti la preme. Dall'insieme dunque delle pressioni eguali che operano sopra i diversi punti di sua superficie risulta una sola forza, diretta di sotto in sopra, eguale perfettamente al peso di tutta la sfera: questo ragionamento vale egualmente per un corpo di ogni altra figura.

Oè sia quale si voglia la forma del corpo che si consolida, secondo la nostra supposizione, consolidato che sia, si potrebbe in ogni maniera girare intorno al suo centro di gravità, esso resterebbe in equilibrio in tutte le posizioni. Dunque la forza diretta di sotto in sopra, ovvero la *spinta del fluido*, è una forza il cui punto di applicazione è il centro di gravità del fluido consolidato; questo punto è chiamato *centro di pressione*.

Se invece di supporre lo stesso fluido consolidato, ci figuriamo nell'interno del fluido un corpo estraneo di qualunque sostanza come sughero, marmo, o ferro, è chiaro dover questo soffrire per parte del fluido che lo circonda le stesse pressioni, di una massa fluida consolidata ed avente la stessa figura. La spinta dunque

del fluido ed il centro di pressione, dipendono solo dalla quantità e dalla forma del liquido scacciato, ed in nessun conto dalla natura del corpo che lo scaccia.

Laonde un corpo immerso in un fluido è sempre sottomesso a due forze delle quali già conosciamo le grandezze, le direzioni, ed i punti di applicazione: la prima di tali forze è il peso del corpo, e questa opera di sopra in sotto, ed è applicata al centro di gravità di sua massa; la seconda è la spinta del fluido la quale opera dal basso in alto, ed è applicata al centro di gravità del fluido spostato; quindi derivano le condizioni di equilibrio, di stabilità, o d'instabilità, che ci faremo a determinare.

87. *Condizioni di equilibrio ne' corpi immersi.* — Affinchè un solido immerso in un fluido sia in equilibrio, due condizioni son necessarie: 1°. che il peso del solido sia eguale a quello del fluido scacciato; 2°. che il centro di gravità del solido e quello del liquido scacciato siano nella stessa verticale. Tali condizioni si ricavano dalle cose finora discorse, ma possiamo con un esempio renderle anche più aperte. *Isbn* (fig. 125, a) è una sfera composta di due parti; l'una *Isn*, di sughero, e l'altra *spn*, di piombo. Il suo centro di gravità sta in *g*, ed il suo peso è precisamente eguale al peso dell'acqua che essa può scacciare. Se questa sfera si situi nell'acqua in modo che la sezione *sn* sia verticale (fig. 6), essa sarà assoggettata a due forze parallele uguali e contrarie, le quali faranno una coppia, cioè al suo peso *gv* ed alla spinta *cf* del fluido; e l'equilibrio non accaderà se, non quando la coppia sia spiegata nel modo espresso nella figura *a*, o piegata sopra se stessa come nella figura *c*. Nel primo caso l'equilibrio è stabile, instabile nel secondo.

Se il corpo è omogeneo il suo centro di gravità coincide col centro di pressione, ed allora sarà mestieri adempier solo la prima condizione di equilibrio, la quale si può anche esprimere dicendo, che il corpo ed il fluido che lo circonda debbono avere la stessa den-

sità. Una pallina di cera si tien sospesa nell'acqua, va al fondo nell'alcool, e galleggia sul mercurio, perciocchè la sua densità è quasi eguale a quella dell'acqua, maggiore di quella dell'alcool, e di quella del mercurio minore di assai.

Sembra che i pesci siano in equilibrio nell'acqua nella quale essi vivono, perciocchè possono stare fermi in quella, senza essere tratti giù dal proprio peso, e senza esser menati a galla dalla spinta del fluido. E però un pesce pesa giusto quanto un volume d'acqua eguale al suo; peserà un chilogrammo, se caccia un litro d'acqua, e mille chilogrammi se ne scaccia mille litri; ovvero un metro cubico. Una balena lunga 20 metri avente un volume di circa 500 metri cubici, peserà da circa 500 mila chilogrammi, ed anche un poco di più, essendo l'acqua marina dell'acqua dolce ancor più pesante.

Se convien che i pesci siano in equilibrio, non essendo stati fatti per mantenersi in continuo moto sulla superficie del mare, è mestieri anche che il loro equilibrio non sia nè labile, nè indifferente; e questa condizione è adempiuta da un organo speciale che serve anche per altri usi, giacchè nella composizione degli esseri organizzati non trovi una parte che sia ad un solo fine ordinata. Quest'organo è il notatoio, il quale sebbene nelle diverse specie abbia forme diverse, pure è sempre disposto in guisa da espandere le parti superiori restando alle inferiori maggior peso. In tal guisa il centro di gravità del corpo rimane al disotto del centro di pressione, e la condizione di stabilità è soddisfatta.

Secondo le osservazioni del signor Biot il notatoio non contiene aria atmosferica, ma in que' pesci che vivono a poca profondità si trova piena di gas azoto quasi puro, di 0,9 di ossigeno e 0,1 di azoto in quelli che vivono a profondità di 1000 a 1200 metri. Ad una profondità di 8, o 9000 metri cotesti gas sarebber deirsi quanto l'acqua, ed il notatoio per l'equilibrio inutile sarebbe.

Pare che i pesci usino anche del notatoio per ascendere e discendere nell' acqua , il che difficilmente far potrebbero col solo mezzo delle loro pinne. Ma per ascendere e discendere usando del notatoio, basta solo che essi possano restringerlo o gonfiarlo a lor talento, perciocchè nel primo caso, rimanendo il peso lo stesso e scemaudosi il volume, si rendono dell' acqua più densi e cadono al fondo , nel secondo caso per una ragion contraria debbono ascendere come il suvero.

Questo fenomeno frattanto non è sì facile , come a prima giunta potrebbe sembrare; perciocchè un pesce in mezzo all' acqua non può enfiarsi come un mammifero il quale respira: esso non trova aria da inspirare o da espirare ; deve dunque con la stessa quantità di gas questi moti produrre. E però è mestieri che il gas , mercè un azione volontaria , sia continuamente compresso più di quello che lo sarebbe dalla pressione del fluido circostante , e secondo la maggiore o minore energia di questa forza comprimente , prenda un minore o maggiore volume (1). Il quale effetto rendesi aperto mercè il giocolino espresso dalla *figura 121* conosciuto col nome di *diavolo di Cartesio*. Il diavolo *l* sale o scende secondo che si sollevi o si prema la membrana *ab* che chiude il vase.

Ne' pesci i quali si pescano ad una profondità di mille metri , il gas del notatoio è premuto come da cento atmosfere; giunto alla superficie tende a prendere un volume cento volte maggiore, onde osservasi, tutta la forza muscolare non essere più sufficiente a contenerlo ; esso si espande urtando tutti gli organi vicini e particolarmente la membrana dello stomaco la quale è talmente tesa e dilatata da formare dalla parte esterna della gola un' enfiatura molto singolare. Da ciò si

(1) Potrebbe anche darsi che il pesce facendosi più verso il fondo, la stessa pressione del liquido comprimesse il gas del notatoio agevolando la discesa, ed il contrario avvenisse allorchè va verso la superficie dell' acqua.

può giudicarè, trovarsi nei mari abitatori diversi non solo secondo la diversità de' climi, ma anche secondo le varie profondità.

87. *bis.* *Condizioni di equilibrio de' corpi galleggianti.* — Vi sono pe' corpi galleggianti come per quelli immersi le stesse due condizioni di equilibrio; solo la condizione di stabilità è diversa. Una nave per esempio, la quale pesi un milione di chilogrammi, non si porrà in equilibrio se non scaccerà prima mille metri cubici di acqua, e se il centro di gravità e quello di pressione non si dispongano nella stessa verticale. Ma per la stabilità non è punto necessario che il centro di gravità si trovi sotto del centro di pressione, essendo solo necessario che si trovi sotto un altro punto conosciuto col nome di *metacentro*, la cui determinazione troppo oltre ci menerebbe. La posizione del *metacentro* dipende dalla forma della nave, quella del centro di gravità poi dipende dalla distribuzione del carico; e dalla rispettiva distanza trae origine la rapidità delle oscillazioni. Per questa e per molte altre ragioni addiviene, che siavi un arte che impara a caricare i vascelli dando a' pesi un giusto ordinamento (1).

(1) Coloro che desiderassero di conoscere in qual modo determinare si possa quel punto sotto il quale è mestieri che cada il centro di gravità del galleggiante, perchè si abbia equilibrio, il quale punto fu detto metacentro dal Bouguer (*Tre'te du Navire*), potranno consultare l'Idrodinamica del Bossut. Ma non sarà fuori proposito fare qui intendere a' giovani come possa aversi la stabilità di un galleggiante, quantunque il centro di gravità del medesimo si trovi sopra di quello della pressione.

Supponiamo esser P (*Tav. agg. fig. 34*) un corpo galleggiante di figura convessa, e tale che due piani tra loro perpendicolari i quali passino per lo centro G' di gravità del medesimo lo dividano ciascuno in due parti simmetriche. Se P asse d' intersezione di questi piani sia verticale, il centro G di gravità del corpo ed il centro C di pressione si troveranno nell' asse medesimo. Supponendo che una delle sezioni restando verticale l' altra s' inclini (n. 2), il centro G di gravità resterà fisso, e quello di pressione supponiam che passi in C', in questo caso apparisce essere il galleggiante tratto da due forze, l' una diretta secondo GS, l' altra secondo C'A, le quali

88. *Degli areostati.* — Il principio di Archimede è verò non solo pe' liquidi ma anche pe' gas. I corpi immersi ne' fluidi aerei vi perdono tanto di peso per quanto è il peso del fluido che scacciano. Se l'aria atmosferica fosse assai pesante, se pesasse per esempio il doppio, o il triplo dell'acqua, la maggior parte de' corpi terrestri sarebbero inalzati dalla spinta di questo fluido, e noi stessi monteremmo su come il sughero nell'acqua. Ma l'aria è tanto leggiera, fa perdere ai corpi sì tenue parte di loro peso, che solo un ingegno straordinario scerner poteva la possibilità di elevarsi nell'atmosfera, tenervi librato e nuotarvi come si nuota nel mare.⁽¹⁾

Questa stupenda invenzione è dovuta a' fratelli Montgolfier. Avevano costoro annunciato, che una gran macchina di loro invenzione sarebbe atta a percorrere l'atmosfera, e nel 5 giugno del 1783 sen faceva l'esperienza in Annonay alla presenza degli stati generali e d'una immensa moltitudine di gente; si vide allora nuovo spettacolo sulla terra, da giustamente destare l'entusiasmo, cioè un globo di smisurata grandezza maestoso ascendere in alto, quasi da una mano invisibile tenuto vi fosse. Frattanto questa maniera di prodigio di leg-

costituendo una coppia, il corpo dovrà oscillando ritornare alla posizione di prima.

Poichè tanto pesa un solido galleggiante in un liquido per quanto un volume di questo liquido eguale alla parte del solido immersa, come lo è chiaro per le cose innanzi discorse, perciò misurando il volume della parte della nave immersa nell'acqua e sapendo di questa la gravità specifica si potrebbe agevolmente conoscere l'intero peso della nave.

(1.) Pesando dunque corpi di diversa densità con bilancia anche esatissima, nel caso di equilibrio, non si avranno pesi eguali, perciocchè il corpo di minor densità avendo maggior volume perderà nell'aria maggior peso. E ciò può rendersi aperto per via di un'esperienza: agli estremi dell'asta di una piccola bilancia sensibilissima pendano un globo di sùvero ed una palla di piombo in guisa che siano in perfetto equilibrio nell'aria; si ponga la soprad detta bilancia nella campana della macchina pneumatica, e se ne estragga l'aria, si vedrà tosto il globo di sùvero preponderare.

gieri s' intende. La *montgolfiere*, chiamasi così quest' areostato, è formata da un globo di carta verniciata o di taffetà, avente nella parte inferiore un' apertura di circa un piede quadrato. Alquanto più sotto di quest' apertura pende un paniere di fili metallici, poco pesante, entro del quale si pone un corpo combustibile come sarebbe la paglia sminuzzata, la lana, o la carta. Acceso questo combustibile, l' aria che si riscalda, da se stessa ascende, entra nel globo e ne empie la capacità. E siccome a volumi eguali l' aria calda è dell' aria fredda meno pesante, così il peso del globo dovrà esser minore dell' aria che sposta e però dovrà montar su per l' eccesso di forza della spinta del fluido: nell' ascender trae seco il combustibile acceso il quale ingenera la forza di ascensione, e più non salirà quando sia giunto ad un' altezza nella quale l' aria dell' atmosfera sia di tanto rarefatta, che la differenza del peso dell' aria fredda spostata è dell' aria calda contenuta nel globo areostatico sia precisamente eguale al peso dell' invoglio, del paniere e del combustibile che questo ancora contiene.

Charles celebre fisico in quel tempo ancor giovane, e professore a Parigi ebbe la felice idea di sostituire all' aria calda il gas infiammabile, che ora dicesi *idrogeno*, del quale il Cavendish nel 1766 avea fatto conoscere la somma leggerezza. L' idrogeno è più di quattordici volte meno pesante dell' aria, perciocchè la sua densità è di 0,0688, presa quella dell' aria per unità. Un centimetro cubico d'aria pesa $0^{\text{ch}},001299075$, e 1000^{mc} pesano $1299^{\text{ch}},075$, nell' atto che 1000^{mc} di gas idrogeno pesano appena $89^{\text{ch}},760$: la differenza è di 1209,699. Onde un globo di mille metri cubici pieno di gas idrogeno può innalzare un peso di $1209^{\text{ch}},699$; e tanto era grande il globo areostatico che Charles fece fare; e per far conoscere la fiducia che ispirar doveva la sua scoperta, egli insieme con Robert intraprese quel famoso viaggio nel quale fu in pochi minuti elevato ad un' altezza di quattro o cinquecento tese e

percorse in queste regioni dell'atmosfera in due ore, più di nove leghe. Charles, si elevava dal mezzo delle Tuileries; tutto il popolo era in movimento: le pubbliche piazze, le sommità degli edifizi, e tutte le alture eran piene di spettatori: un colpo di cannone annunciava la partenza, e tosto si vide il globo areostatico montare in alto qual meteora che dall'orizzonte s'inalza; alla maggiore altezza ancor si vedeano le banderuole spiegate sulle quali batteano i raggi del sole, ed i tranquilli naviganti che la terra salutavano. Niuna esperienza di fisica destò mai ammirazione sì grande, ed ebbe maggiori applausi.

Charles non dovea restare senza imitatori, ed in fatti n'ebbe in tutti i colti paesi.

Ma fra tutti i viaggi aerei intrapresi per fare scientifiche ricerche, si notano quelli eseguiti in Francia nel 1804 dai signori Gay-Lussac, e Biot. Nella prima di tali ascensioni, questi due fisici giunti all'altezza di 4000 metri, fecero importanti esperienze sulla elettricità e sulla temperatura di quelle alte regioni. La seconda volta poi il signor Gay-Lussac ascese egli solo fino all'altezza di 7000 metri, la maggiore cui l'uomo sia giunto. I signori de Humboldt, e Bompland si elevarono fino a 6100 metri sul Chimborazo al di sopra del Vulcano di Cotopaxi. In questa grande altezza si sente un freddo grandissimo, il termometro del signor Gay-Lussac si abbassò a 10° sotto zero nell'atto che sulla terra segnava 30°. La siccchezza dell'aria è sì grande ed i corpi igrometrici perdono sì presto il loro umido che si veggon torcere e voltare per ogni verso. Il cielo si vede di un colore blu molto cupo misto di una tinta nera. Sospeso in mezzo allo spazio, in un aria tanto rarefatta, ad una sì grande distanza dalla terra o da ogni corpo resistente, non si ode alcun rumore, non si vede alcun oggetto, si ha un sentimento di solitudine che solo Gay-Lussac può descrivere. Dopo una navigazione di sei ore, nella quale avea percorso più di trenta leghe in linea orizzontale, il signor Gay-

Lussac lentamente discende e venne a ritrovar la terra presso Rouen. Diremo ne' luoghi opportuni i risultamenti de' quali la scienza si è giovata per questo viaggio memorando (1).

CAPO VIII.

Principi d' Idrodinamica.

89. L' idrodinamica generalmente considerata comprende tutto ciò che riguarda il moto de' fluidi , e però essa è una delle importanti branche della meccanica razionale. Ma in alcuni casi particolari , il moto

(1) Ogni colta nazione di Europa ha preteso esser sua la gloria della invenzione degli arcostati , ma l' Italia a buon dritto la reclama , e perchè un Italiano ideava il primo arcostato , e perchè un altro il primo lo mandava ad effetto. Il P. Francesco Lana da Brescia ideava la sua *nave volante* , ed il chiaro Tiberio Cavallo dell' Accademia Reale di Londra, più di un anno prima che i fratelli Montgolfier offerissero alla Francia lo spettacolo nuovo di un globo arcostatico ad aria rarefatta , ne innalzava uno pieno di gas idrogeno del diametro di tre o quattro piedi.

Poiché si videro i vantaggi che ritrar si poteano dagli arcostati , si andò tosto pensando alla maniera di regolarne la direzione, e quantunque mille tentativi si facessero, pure nessun pensiero rimase dal buon successo coronato. Ciò non pertanto alcuni, facendolo tesoro delle nuove scoperte, van proponendo altri mezzi dai quali sperar si possa una felice riuscita. Nel numero di costoro è da porre singolarmente il chiarissimo cavaliere Marco Antonio Costa antico ufficiale superiore del Genio, uomo nelle scienze naturali e matematiche versatissimo, il quale, non ha guari, ha ideato una nuova nave volante capace di esser diretta dall' areonauta, la quale forse non rimarrà come quella del fisico di Brescia senza esser sottoposta alla irrefragabile riprova della esperienza, giacchè alcuni, come dicesi, in una cospicua città dell' Italia han già fermato in mente di fabbricare una nave arcostatica secondo le idee del Costa. Consiglio gli studiosi a consultare l' opera di costui intitolata, *Saggi sull' arcostatica e sull' areonautica* , perchè in essa troveranno non solo descritti e posti in disamina con critica rigorosa e fino discernimento i diversi mezzi escogitati finora per avere una vera navigazione aerea, e l' utile che derivar ne dovrebbe, ma anche le ragioni che convalidano il suo ritrovato. L' opera del Costa oltre all' nuove idee che contiene, è il lavoro il più completo che, per quanto io mi sappia, si sia fatto in questo genere.

de' liquidi è soggetto a leggi tanto semplici che possono esser dall'esperienza fermate, e noi sotto un punto di veduta puramente sperimentale ci faremo ad indicare i principi dell'idrodinamica, e la composizione di alcune macchine che ne dipendono.

90. *Condizioni dello scolo de' liquidi, e teorema di Torricelli.* — Le pareti de' vasi che contengono i liquidi generalmente soffrono due opposte pressioni (fig. 130); l'una che opera di dentro in fuori spingendo le pareti, l'altra che opera per verso contrario, quasi tendendo a farle penetrare nel liquido. La prima è la somma delle pressioni dovute alla colonna liquida che innalzasi dal punto della parete che si prende in veduta, ed al peso che premer potrebbe su questa medesima colonna; la seconda è la pressione atmosferica, o più generalmente la pressione del mezzo che circonda il vase. Facendo un buco o nel fondo o in una parete laterale, il liquido che trovasi in questo buco soffre quella stessa pressione che soffriva la parete della quale esso occupa il luogo, e però la sola condizione necessaria perchè esso scorra è che la interna pressione tendente a farlo scorrere sia maggiore della esterna che a questo efflusso si oppone. Si può, per altro, una tale verità con la seguente esperienza dimostrare. Un provino (figura 126) essendo pieno d'acqua se ne copra l'orifizio con un disco di carta, indi si capovolga e si vedrà la colonna liquida restar sostenuta, perciocchè la pressione generata da sopra dal peso dell'acqua è minore della pressione che di sotto l'aria produce. Se l'orifizio del provino avesse un diametro non maggiore di due o tre millimetri, il disco di carta non sarebbe necessario: per gli orifizî maggiori il disco di carta impedisce alla colonna liquida di *dividersi*, cioè di far che l'acqua scenda da un lato mentre l'aria dall'altro ascenda.

Allorchè il liquido sgorga da un foro mercè l'eccesso di pressione di cui abbiamo parlato, la por-

tata (1), cioè il volume che esce in un dato tempo, è chiaro dipendere dall'ampiezza del foro, e dalla velocità che portano le molecole liquide nello sgorgar da esso. Questa velocità poi dipende dalla densità del liquido, dall'eccesso di pressione prodotta sul foro, e dall'attrito che il liquido può soffrire tanto verso le pareti del vaso quanto verso i margini del foro medesimo. Per indebolire l'attrito che in questo caso è una forza perturbatrice, si soglion da prima cercar le leggi dello sgorgar de' liquidi da fori fatti in *sottili pareti*, cioè da fori praticati in lamine sottilissime adattate a grandi vasi, acciocchè il liquido abbia una picciolissima velocità verso le pareti del vase medesimo (2).

Sotto queste condizioni le leggi dello sgorgar de' liquidi son comprese nel seguente teorema conosciuto sotto il nome di teorema di Torricelli. *Le molecole uscendo dal foro hanno quella stessa velocità che avrebbero acquistata se fosser cadute liberamente nel vòto da un'altezza eguale all'altezza di livello computata dal centro del foro.* Vedrem tosto come l'esperienza può verificare questa legge fondamentale, con le tre seguenti illazioni che ne derivano.

Primieramente. *La velocità di scolo dipende unicamente dalla profondità del foro al di sotto della superficie di livello, ed in nessun conto dalla natura del liquido:* perciocchè tutt' i corpi cadendo nel vòto dalla stessa altezza acquistano la stessa velocità. Laonde l'acqua ed il mercurio ricevono la stessa velocità quando sgorgan da fori i quali trovansi egualmente lontani dalla superficie di livello. Frattanto il mercurio è spinto da una pressione molto più grande di quella dell'acqua. Se il foro, per esempio, si trovi al di sotto della linea di livello per 32 piedi, l'acqua sarebbe spinta dalla pressione di un' atmosfera, nell'atto che

(1) Uso la voce *portata* sull'esempio di parecchi scrittori d'idraulica per tradurre la voce *depense* del testo.

(2) V. il supplimento che segue.

il mercurio sarebbe spinto dalla pressione di 13 atmosfere e mezzo.

Secondo. *Le velocità con le quali sgorga uno stesso liquido, son come le radici quadrate delle altezze di livello al di sopra de' fori*; perciocchè le velocità de' gravi cadenti son come le radici delle altezze dalle quali cadono. Onde in un vase, per esempio, alto 100 piedi se si facesser due fori uno sotto la superficie di livello per un piede, e l'altro presso al fondo, cioè per 100 piedi sotto la superficie medesima, la velocità con la quale il liquido sgorgerebbe da quest'ultimo, sarebbe di quella del primo solo dieci volte maggiore, nell'atto che la seconda pressione sarebbe 100 volte maggiore della prima.

Da ultimo. Se la pressione che avviene al sommo della colonna liquida fosse maggiore della pressione esterna che si oppone allo scolo, cotesto eccesso di pressione sarebbe eguale al peso di una colonna dello stesso liquido, di una determinata altezza, ed allora la velocità delle molecole che scorrono, sarebbe eguale a quella che esse avrebbero acquistata cadendo dalla sommità di questa seconda colonna, che è mestieri considerare come sovrapposta alla prima. Il contrario avverrebbe se la esterna pressione, quella che avviene sopra la colonna, superasse.

91. *Diversi mezzi per avere una costante pressione.* — Per verificare le leggi precedenti in una maniera semplice e rigorosa, è mestieri conseguire una pressione costante verso il foro ed in conseguenza serbare una costante pressione sul liquido che scorre. Questo si ottiene in varie guise, ma noi ci restringeremo solo ad indicare i tre seguenti mezzi: il *vase a ribocco* (trophlein), il *galleggiante del signor Prony*, ed il *vaso di Moriòtte*.

Vase a ribocco (fig. 127). *r* è un serbatoio ordinato a somministrare acqua, *s* è un'animella, *t* un tubo, *v* il vase dal quale dee sgorgare il liquido, *o* l'orifizio, *c* una cassa forata da piccoli buchi, e

d' un risciacquatoio. Per mezzo dell' animella s che più o meno si alza si fa giunger nel vaso v un poco più di acqua di quel che ne scorre per l'orifizio o ; il risciacquatoio serve a rigettare l'acqua che soverchia; il tubo t e la sua cassa son destinati ad impedire l'agitazione che l'acqua cadendo potrebbe ingenerare, perciocchè i più piccoli moti ancorchè avvenuti nella superior superficie, possono far variare la velocità del liquido nel foro.

Galleggiante del signor Prony (fig. 132). Questo strumento è composto da un vase di scolo v da una cassa galleggiante c , da una cassa inferiore c' , da varie verghe di ferro t , le quali uniscano le due casse, e da un imbuto n ordinato a menare nella sottoposta cassa tutto il liquido che sgorga dal foro o . Se si prendan, per esempio, nel vase v dieci litri d'acqua e si versino nella cassa c , il livello nel vase v non si cambierà, perciocchè la cassa renduta in questo caso più pesante di dieci chilogrammi, rimuoverà nel vase v 10 litri d'acqua di più. E però con l'aggiunger acqua nella cassa si fa salire di tanto il livello per quanto si abbassa col torre l'acqua dal vase: ma se si versi l'acqua nella cassa c' si conseguirà lo stesso risultamento, perciocchè si produrrà nel sistema lo stesso aumento di peso; adunque per avere, mentre il liquido scorre, sempre lo stesso livello, basterà innanzi all'orifizio o , porre un imbuto n che porti nella cassa c' tutto il liquido che scorre per l'anzidetto foro.

Vaso di Mariotte. Questo è espresso dalle figure 133 e 134. t è un tubo il quale può scorrere nel turraccio del recipiente b , ed il cui estremo inferiore è successivamente o abbassato in p al disotto del livello nv dell'apertura laterale, o rialzato in h al di sopra del livello medesimo; l'apertura laterale è stretta in maniera che la colonna liquida non si possa dividere. Stando il tubo in p (fig. 133) pieno interamente d'acqua del pari che la boccia, è chiaro dovere il liquido scorrere per lo forame laterale v , perciocchè la

interna pressione risulta dalla pressione atmosferica prodotta sulla sommità del tubo e dalla pressione dovuta al peso della colonna liquida sn , nell'atto che la pressione esterna, è la sola pressione atmosferica. Ed in fatti il liquido sgorga, ed il livello entro del tubo rapidamente si deprime, dal punto s fino al punto n , ivi si ferma ed il liquido più non scorre. Il vaso rimane pieno, l'orifizio v rimane aperto, e frattanto neppure una goccia d'acqua si vedrà più uscire. Sulla intera sezione orizzontale $n'nv$ la pressione essendo la stessa di quella in n , cioè di una pressione atmosferica, non v'ha ragione perchè il liquido debba scorrere tuttavia. Sopra un'altra sezione come $c'c$ la pressione non è solo dovuta al peso della colonna superiore, ma è eguale ad una pressione atmosferica diminuita della colonna $c'n'$. Si faccia intanto scorrere il tubo per farlo ascendere in h , tosto comincerà il liquido a sgorgare, all'estremo inferiore del tubo si formeranno delle bolle d'aria, le quali si vedranno enfiare, staccarsi ed ascender su l'una dopo l'altra verso la parte superiore del vase. In questo modo lo scorrere continua con una *velocità costante* in tutto il tempo in cui il livello del liquido discende dalla sommità del vase fino ad h ; perciocchè la pressione sulla sezione $n'nv$ allora si compone dalla pressione atmosferica che opera in h e dalla pressione dovuta al peso della colonna hn , pressioni le quali rimangono costanti fino a che il livello non sia giunto in h : ma da questo momento la velocità di scolo va scemando gradatamente, finchè diviene interamente nulla, allorchè il livello è giunto in n . Il vase di Mariotte può ricevere svariatissime forme, può avere un foro laterale per lo scorrimento del liquido, o un foro orizzontale, come sta espresso nella figura 134.

92. *Mezzi per verificare con l'esperienza il teorema di Torricelli.* — La velocità v delle molecole cadute nel vòto per la libera verticale da un'altezza a è espressa dalla formola

$$v = \sqrt{2ag}$$

la quale ricavasi dalle formole generali del moto de' gravi (§ 40) (1). D'altronde abbiain veduto (§ 50), a Parigi essere $g = 9^m, 8088$. Onde

$$v = 4^m, 429\sqrt{a}$$

Questa è dunque la velocità che secondo il teorema di Torricelli debbon portare i liquidi uscendo da un foro il cui centro stia sotto la superficie di livello per una distanza a , essendo a espressa in metri: questa dicesi la *velocità teorica*. Per verificare questo risultamento, basterà dunque di preparare un vase a livello costante dal quale il liquido esca per un foro di un'ampiezza conosciuta s , fatto in una parete sottile, il cui centro sia per un numero a di metri sotto al livello, osservar poi la *portata*, o il numero de' litri che escono in un dato tempo, per esempio in 8' o 10'; allora facil riesce il dedurne la *portata* p in 1", espressa in metri cubici; questa portata o piuttosto questo volume, può esser considerato come un cilindro il quale sia passato per lo foro quasi in quella stessa guisa che un filo passa per la filiera: chiamando dunque v' la lunghezza incognita del cilindro si avrà.

$$= sv' = p, \text{ ossia } v' = \frac{p}{s},$$

la sezione s del foro essendo anche espressa in metri quadrati: ora è chiaro, v' esprimere la *velocità effettiva* delle molecole liquide, perciocchè essa esprime il numero di metri che queste molecole realmente percorrono in 1".

Agevole dunque riesce il vedere se la velocità effettiva data dalla formola

$$v' = \frac{p}{s}$$

(1) Queste formole sono $v = gt$, ed $s = \frac{gt^2}{2}$, dalle quali eliminando t , si ha $v = \sqrt{2gs}$, e siccome s in questo caso, è espresso da a , così si avrà $v = \sqrt{2ag}$.

sia eguale alla velocità teorica data dalla formola

$$v = 4^m, 429 \sqrt{a}.$$

Esperienze comparative sonosi fatte sul proposito da un numero grandissimo di osservatori, e tutt' i risultamenti ci menano a conchiudere, all'orifizio la velocità effettiva esser circa due terzi della velocità teorica. Quindi il teorema di Torricelli, sebbene poggiato sopra semplicissime considerazioni meccaniche sembrerà a prima giunta non esser punto dalla speranza fermato. E pure i risultamenti si metton d'accordo qualora si ponga mente alla *contrazione della vena fluida*. E per fermo, la vena fluida uscendo dell' orifizio si contrae, vale a dire scema rapidamente di sezione, di tal che ad una distanza pressochè eguale al diametro dell' orifizio, la sua sezione è circa due terzi di quella dell' orifizio medesimo. Per molto tempo si è creduto che oltre di questo limite la vena riprendesse una maggior sezione, e che però essa avesse un *massimo di contrazione*; ma il signor Savart ha ultimamente dimostrato (*Ann. de Phy. et Chi. t. 53, p. 337*) non esservi un massimo di contrazione se non per le vene che sono spinte di basso in alto, ed in ogni altro caso scemar la sezione della vena fluida dal punto di uscita fino a che non si altera e si divide, come di corto vedremo: se non che la contrazione da prima procedendo con rapidità, scemarsi alquanto, percorso uno spazio eguale presso a poco al diametro dell' orifizio.

Se dunque invece di considerare la velocità delle molecole fluide nel foro stesso, si consideri nella sezione della vena poco lungi dal medesimo, cioè dove la contrazione comincia a scemare, s' intenderà esser quella tanto più grande per quanto più piccola è la sezione, o che vale lo stesso, essere le velocità in ragione inversa delle sezioni, perciocchè la stessa quantità di liquido deve nello stesso tempo passare. Per la sezione dunque della quale si tratta, la velocità ef-

fettiva è in conseguenza eguale alla velocità teorica (1).

Dimostrato il teorema di Torricelli, agevole riescirà l'intendere come debbansi i descritti vasi disporre per rendere aperte le tre illazioni che ne abbiamo ricavate, e per far conoscere anche, prendere il getto una *curvatura parabolica*, allorchè esce per un foro, laterale sotto varie inclinazioni (2).

92. *Costituzione della vena fluida.* — Erasi già da gran tempo osservato, comporsi una vena fluida di due parti distinte, l'una vicino all'orifizio placida e trasparente simile ad una verga di cristallo, l'altra più lontana agitata e come composta di gocce staccate; ma il signor Savart poi ha fatto una disamina completa e degua di esser con diligenza considerata, della vera costituzione della vena fluida, e delle diverse apparenze che presenta. Ci duole di non potere qui esten-

(1) Se in un vase prismatico pieno d'acqua la quale sgorgi per piccolo foro fatto nel fondo del medesimo si gittino de' corpicciuoli più pesanti dell'acqua, questi si vedranno discendere verticalmente fino a che non sian giunti al di sopra del foro ad un'altezza di circa tre raggi del medesimo; quindi si vedranno prendere un moto vorticoso verso il foro anzidetto descrivendo curve, le quali ci dimostrano formar la corrente presso il foro, che suppongo assai stretto, una conoide molto convergente, la cui altezza è di tre raggi del foro, ed ha per base superiore la sezione del vaso, e l'area del foro per base inferiore. A questa conoide si dà il nome di *gorgo*. Questo avviene anche quando il foro sia fatto nella parete del vaso. Se poi sull'acqua si trovi uno strato d'olio allora giunta la superficie di livello alla indicata altezza, l'olio o qualunque altro liquido leggiero che siasi posto sull'acqua accorrerà verso il foro ed il gorgo si vedrà come un fosso o imbuto sulla superficie del liquido. Se il foro sia fatto in una lamina sottile si vedrà la contrazione della vena fluida quasi come una continuazione dell'anzidetta conoide. La sezione della vena nel suo massimo restringimento la quale dicesi *sezione della vena contratta* è lontana dal foro per un raggio circa del medesimo, e la sua ampiezza è ad un dipresso i cinque ottavi di quella del foro. Onde volendo calcolare la portata effettiva, uopo è prendere i $\frac{5}{8}$ della portata teorica: conciosiachè conviene considerare come se il liquido sgorgasse da un foro grande quanto la sezione della vena contratta.

(2) V. Bossut Hydrol. §. 485.

derci oltre di un riassunto assai breve delle sue belle osservazioni.

La figura 142 rappresenta una vena fluida, spinta di sopra in sotto, nel modo come suolsi presentare allo sguardo; *an* è la parte fissa, *nn'* è il cominciamento della parte agitata, la quale sembra alternativamente cufiata e contratta. La figura 143 indica l'antecedente vena fluida come veramente è formata: tutta la parte agitata è composta di gocce l'una dall'altra separate e distinte: l'enfiature son formate da gocce larghe ed orizzontalmente depresse, i nodi al contrario da gocce verticalmente allungate. Siccome poi avviene che l'enfiature e le contrazioni si tengono nelle stesse posizioni, così è forza che la stessa goccia *a* depressa nell'enfiatura, si allunghi giungendo dove apparisce il primo stringimento *n'*, poi di nuovo si renda depressa al secondo enfiamento, allungata al secondo nodo ecc.; è mestieri dunque che essa soffra delle vibrazioni periodiche e sommamente regolari, mercè le quali passi dall'una all'altra forma. Sembra che tutte le gocce abbiano lo stesso diametro e soffrano le medesime mutazioni: pur tuttavolta sembra tra due gocce consecutive trovarsene un'altra molto più piccola la quale per un effetto della visione fa che l'enfiature appariscano come se fosser penetrate da un tubo.

Il signor Savart ha egualmente dimostrato, ciascuna goccia esser prodotta da un rigonfiamento anulare il quale prende origine vicino al foro, e procede sulla parte limpida della vena, crescendo sempre di volume fino a che non se ne stacca; esservi per conseguenza anche nel foro una successione periodica di *pulsazioni*, ed il numero di queste essere in ragion diretta della velocità dello scorrimento, ed in ragion reciproca del diametro del foro. Le pulsazioni delle quali si parla sono talmente rapide e regolari da potere ingenerare un suono particolare, e se con una campana o con uno strumento di musica si produca

poco lungi il suono medesimo, o un suono prossimo, si vedrà nella vena un considerevole cambiamento, ancorchè sia spinta di sotto in sopra (*fig. 136 e 137*): l'enfiature e le contrazioni in migliore ordine si disporranno occupando anche la parte trasparente la quale quasi nulla diviene; la portata intanto rimane la stessa. La forma e la dimensione della vena, non che il numero delle pulsazioni, non soffrono alcun mutamento dalla presenza dell'aria.

Tutto ciò è vero pe' getti d'acqua spinti in direzione orizzontale o obliqua, di sotto in sopra o al contrario, purchè l'inclinazione non sia minore di 45° , perciocchè da questo limite la vena comincia ad avere un massimo di contrazione tanto più considerevole per quanto più lo zampillo si avvicina alla verticale.

Ma se i fori non sian rotondi, la vena mostrerà delle varietà di forma considerevolissime, le quali sono state osservate con diligenza particolarmente da' signori Poncelet e Lesbros. In un foro, quadrato, per esempio, che abbia 20 centimetri di lato le sezioni della vena fatte alle distanze di 20, 30, 40 centimetri sono espresse nella figura 139: il n. 1 è il foro ed i n. 2, 3, e 4 son le sezioni considerate alle distanze di 20, 30, e 40 centimetri dall'orifizio. La parete essendo verticale la direzione della vena era da prima orizzontale. Il punto *h* indica sempre la parte di sopra; agevole riesce il figurarsi le forme intermedie e di farsi l'idea del singolare rilievo di questa vena parabolica.

94. *Delle cannelle, e degli effetti delle medesime sullo scorrimento de' liquidi.* —

Si dicon *cannelle* (1) alcuni tubi di varie forme, o alcune lamine curve variamente perforate che si adattano a' fori fatti in sottili pareti, per farne uscire il liquido.

Il più semplice è quello che ha precisamente quella forma che prende la vena dal foro sino alla sezione con-

(1) Si dicono anche tubi addizionali (*ajoutages*).

tratta. Se questa sia diligentemente fatta, ed abbia la superficie interna ben levigata, non produrrà sulla portata verun divario.

Facendo un foro in una parete curva, non si ha la stessa portata che si avrebbe se questo si trovasse in una parete piana: si ha maggiore se la concavità è rivolta in dentro (*fig. 140*), minore se è rivolta in fuori (*fig. 141*).

Un singolare fenomeno avviene poi nelle cannelle cilindriche le quali abbian lo stesso diametro de' fori fatti in sottili pareti, ai quali queste cannelle siano adattate: alle volte la vena fluida riman libera e passa per la cannella senza toccarla, alle volte rimane aderente, ed il liquido sgorga a *bocca aperta*, cioè a condotto pieno. Nel primo caso la cannella non ingenera alcuna alterazione di velocità, o di portata: essa non può produrre alcun effetto, perciocchè il liquido non la tocca per nulla. Nel secondo caso l'adesione tra la vena e le pareti del condotto ingenerano un accrescimento di velocità e di portata. La portata del primo caso è a quella del secondo come 100 a 133, purchè il diametro della cannella sia circa la quarta parte della lunghezza della medesima. Questo fenomeno dipende da molte cagioni, e principalmente dalla pressione: sotto una debole pressione la vena è sempre aderente, ancorchè cortissime siano le cannelle, sotto pressioni fortissime la vena si tien libera; e sotto medie pressioni si può avere ad arbitrio lo scorrere a vena libera o a vena aderente, un piccolo ostacolo essendo sufficiente ad ingenerare l'adesione, e sovente un picciolo urto può staccar la vena dalle pareti della cannella e farla liberamente scorrere.

Allorchè avviene l'adesione, la vena fluida si contrae nella cannella presso alla parete, in quella guisa appunto che sarebbesi contratta all'aria aperta (*fig. 128*); si può restar di ciò pienamente convinto adoperando un tubo di vetro, ed anche dando alla cannella quella stessa forma che prenderebbe la vena contratta (*fig. 129*):

con questo stringimento la portata sarà ancora 133 come prima.

Una cannella conica può dare una portata anche maggiore della cannella cilindrica.

Se vi son cannelle le quali aumentano la portata: è agevole il farne di quelle che la diminuiscono moltissimo. Ogni rigonfiamento in una cannella conica o cilindrica produce una diminuzione di velocità: i rigorghi, i rivolgimenti, gli urti delle molecole animate da contrari moti ingenerano una grande complicazione di fenomeni, e per ultimo risultamento grande diminuzione nella portata.

Ne' tubi di piccolissimo diametro, i liquidi più non scorrono, tutto che si trovino sotto pressioni sovente ben forti: così il mercurio finisce di scorrere per un tubo lungo 357 millimetri, avente il diametro 1^{mm}; 12, sotto la pressione di 9^{mm}.

95. *Della unità di misura nella distribuzione delle acque* — L'unità di misura per le acque correnti è conosciuta sotto il nome di *pollice del fontaniere*, o pollice d'acqua. Questa è la quantità di acqua che scorre in un minuto da un foro circolare di un pollice di diametro fatto in una parete verticale, stando il livello sette linee al di sopra del centro del foro. Il volume d'acqua che scorre in questo caso è di 14 pinte antiche di Parigi ossia 672 pollici cubici per ogni minuto, il che riducesi a 19,2^{met. cub.} in 24 ore. Un mezzo pollice d'acqua è la quantità che ne scorre da un foro di mezzo pollice di diametro il cui centro sia parimente sotto la pressione di sette linee: d'onde segue che il mezzo pollice considerato a volume o a peso è veramente un quarto di pollice; perciocchè sotto la stessa pressione un foro che abbia il diametro quanto la metà di un altro deve dare una portata che sia la quarta parte della portata di quello (1). Una *linea* d'acqua sarà, per

(1) La ragione di ciò di leggieri si comprende, sapendosi le ampiezze o le superficie de' fori circolari essere fra loro come i quadrati de' diametri: onde essendo i diametri de' due fori come 1: $\frac{x}{2}$

la stessa ragione, la $\frac{19,2^{m. e}}{144}$ parte del pollice, ovvero $\frac{19,2^{m. e}}{144}$ in 24 ore.

Sembra che la quantità di acqua che giornalmente scorre a Parigi sia di circa 10,000 metri cubici, il che importa 15 litri a persona.

96. *Delle pressioni laterali che produconsi da' liquidi in moto.* — Un liquido che scorre per cannelle o condotti esercita contro le pareti una pressione sempre minore di quella che produrrebbe se fosse in quiete. Daniele Bernouilli esprime cotesta pressione che ha luogo durante il moto con la formola $h - h'$.

Per intendere questa formola consideriamo l'attuale velocità delle molecole nella sezione perpendicolare all'asse del tubo o condotto, nella quale si vuol misurare la pressione: cotesta velocità è dovuta per lo teorema di Torricelli ad una certa altezza di livello ch'è il valore di h' . Supponiamo poi che il condotto sia tagliato secondo questa sezione di modo che restando aperta divenga essa stessa il foro di scolo; il liquido prenderebbe allora una certa velocità, ed il valore di h dinota l'altezza della colonna liquida che sarebbe capace di produrla. Questo valore di h non è forza che sia eguale alla vera altezza di livello al di sopra del centro della sezione; esso può essere alquanto minore per effetto della contrazione, o alquanto maggiore a cagione de' condotti. Se h' si trovi eguale ad h la pressione è nulla e le pareti non soffrono alcuno sforzo. Se h' è maggiore di h la pressione è negativa, cioè invece di una pressione sulle pareti del tubo si ha un vero *succhiamento*.

L'esperienze mercè le quali la formola del Bernouilli si è verificata finora, non sono nè molte nè ab-

saranno le ampiezze come $1 : \frac{1}{4}$, e quindi nella medesima ragione le quantità di acqua che escono da' medesimi, poste tutte le altre cose eguali.

bastanza precise da poter meritare una piena fiducia. Il fenomeno intanto del succiamento dalle medesime dimostrato, è un fatto da notare e sul quale non cade dubbio veruno: esso fu conosciuto prima dallo stesso Bernoulli, e poscia dal Venturi e dal signor Hachette più particolarmente studiato.

Ecco in quali casi esso avviene.

Abbiam veduto che la portata di un tubo cilindrico nel caso della vena aderente, è maggiore di quella di un foro dello stesso diametro fatto in una lamina sottile: la velocità effettiva dunque è maggiore della teorica, e quindi h' è maggiore di h , dal che segue il fenomeno del succiamento.

E in vero, se si faccia un foro nella cannella e vi si adatti un tubo ricurvo come $x\gamma$ (fig. 127) il liquido ascenderà in esso, e l'altezza della colonna liquida innalzata sarà la misura della forza *inspirante*. Avendosi una portata anche maggiore da una cannella a doppio cono, maggiore dovrà essere eziandio il succiamento, lo che dall'esperienze del Venturi è perfettamente confermato.

97. *Della reazione ingenerata dallo sgorgar dei fluidi.* — Immaginiamoci un vase avente la figura di un cubo accomodato sopra mobilissime rotelline, e posto in un piano orizzontale che presenti il minore attrito possibile. Il vaso essendo pieno di liquido, starà fermo perchè premuto egualmente da tutt' i lati; ma perforandolo in guisa da far che il liquido sgorgi da un lato, esso sarà respinto per lo verso opposto, e rinculerà come le armi da fuoco, e gli schioppi pneumatici (§ 30). Cotesta reazione si appalesa chiaramente nel così detto *arganello idraulico* (fig. 134. bis). Esso è composto di un serbatoio v mobile intorno di un asse verticale, avente nella parte di sopra un chiavetta r , aprendo la quale l'arganello anzi-detto si muove. E per fermo, i getti d'acqua uscendo in questo caso da tubi orizzontali ripiegati t , t' , ed essendo diretti secondo le tangenti del cerchio descritto

dagli estremi di questi tubi, la loro reazione forma una coppia che ingenera nell' arganello un' rapidissimo moto di rotazione.

Si è per lungo tempo creduto sull' autorità del Newton, che la forza di cotesta reazione pareggiasse quella del peso di una colonna liquida avente per base la sezione contratta e per altezza l' altezza di livello. Ma Daniele Bernoulli ha dimostrato, esser la forza suddivisata eguale sempre al peso di una colonna liquida che abbia la base quanto la sezione contratta della vena che scorre, e l' altezza quanto il doppio dell' altezza di livello. Sopra questo principio è fondata la ruota idraulica conosciuta col nome di *turbine* dalla quale si trae molto utile, dopo gli ultimi perfezionamenti che il signor Fournéyron le ha recati.

98. *Zampilli*. — V' ha de' zampilli che montan su verticalmente, ve n' ha di quelli che escon riuniti come in un fascio descrivendo poscia delle parabole di ampiezze diverse. Gli orifizi da' quali escono i primi sono in pareti orizzontali, ed in pareti variamente inclinate si fanno i fori da' quali uscir debbono i secondi. La direzione dello zampillo è sempre effetto della gravità che opera verticalmente e della pressione o forza impulsiva che è perpendicolare alla parete. Essendo vero per lo teorema di Torricelli, che le molecole liquide hanno nel foro dal quale sgorgano quella velocità che avrebbero acquistata cadendo da un' altezza eguale a quella del livello del liquido nel riserbatoio, segue che se tale velocità fosse diretta dal basso in alto, essa sarebbe valevole a far risalire le molecole fino all' altezza di quel livello dal quale si considerano discese. Laonde l' altezza dello zampillo verticale dovrebbe essere sempre eguale alla elevazione del liquido al di sopra dell' orifizio: ma parecchie cagioni impediscono alle acque zampillanti di giungere a quest' altezza teorica: esse soffrono l' attrito verso le pareti de' condotti pe' quali dal riserbatoio giungono all' orifizio, e verso i margini dell' orifizio medesimo

verso i quali passano con molta velocità; soffrono di più la resistenza dell'aria, e finalmente l'acqua che giunta al punto di maggiore altezza ricade, incontrando quella che ascende, deve ritardarne il moto. Affinchè tutte queste resistenze sian ridotte ad avere la minore possibile efficacia suolsi nella pratica por mente alle seguenti regole.

1°. Si dà a' condotti un diametro il quale dipende dalla loro lunghezza, dall'ampiezza dell'orifizio e dall'altezza del riserbatoio: in guisa che la velocità dell'acqua ne' condotti non oltrepassi i 2 o 3. decimetri per ogni secondo.

2°. L'orifizio si fa rotondo in una lamina sottile che dicesi *piastra*: la piastra è piana, o curva in forma di cupoletta, secondo che si voglia un solo zampillo verticale o un fascio di zampilli parabolici.

Le cannelle cilindriche o coniche producono lo zampillo meno alto de' fori fatti in lamine sottili.

Qualora siasi a tutto questo provveduto, si suole tenere per fermo, in conseguenza delle sperienze di Mariotte, lo zampillo elevarsi all'altezza di 5 piedi se l'acqua nel riserbatoio sia all'altezza di 5 piedi ed 1 pollice; ed in generale aversi l'altezza del riserbatoio, se all'altezza a dello zampillo misurata per piedi si aggiungan tanti pollici per quante unità si contengono nel quadrato di $\frac{a}{5}$. Così uno zampillo di 100 piedi

suppone un riserbatoio di 100 piedi e 400 pollici ossia di 133 piedi e 4 pollici.

99. *Dell'urto di una vena fluida contro un corpo solido.* — Il signor Savart ha pubblicato sul proposito un grande lavoro (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. 54) dal quale ricaveremo i più elementari risultamenti.

Figuriamoci un tubo alto 2 metri del diametro di un decimetro, situato verticalmente, ed avente nella parte inferiore un buco circolare di 10 in 12 millimetri di diametro, fatto in una lamina sottile. Supponiam che cotesto foro si apra dopo di aver pieno il vase di

acqua, e che invece di far correre la vena liberamente le si presenti alla distanza di 20^{mm} dal foro anzidetto un disco di metallo di 27^{mm} di diametro la cui superficie sia piana e forbita, ed il cui centro corrisponda direttamente sotto quello del foro (fig. 144). Allora la vena fluida presenta i seguenti fenomeni:

1°. Essa si apre sul disco, prende l'aspetto di un *nappo* quasi conico, la cui parte centrale *ab* è sottile levigata e trasparente, laddove la zona esterna *aa'*, *bb'* (n. 1 e 2) è quasi opaca, solcata da alcune scanalature circolari, e da altre dirette in forma di raggi le quali spruzzano intorno una moltitudine di piccoli getti o piccole goccioline che cadono in forma di pioggia. Cotesta zona è come l'*aureola* del nappo trasparente, ed il loro insieme forma un *nappo aureolato*. I nappi di questa maniera hanno delle periodiche *pulsazioni*, vale a dire si alzano e si abbassano un poco, ed in pari tempo crescono e scemano di diametro: le pulsazioni hanno tale celerità da poter produrre un suono.

2°. Scemandosi la pressione coll'abbassarsi del livello nel tubo, cresce l'intero diametro del nappo, ma l'aureola si rende minore, di modo che sotto la pressione di 60 in 62 centimetri, l'aureola scompare, ed il nappo acquista una completa trasparenza ed il maggior diametro, n. 3.

3°. Dopo che il diametro è giunto a questo massimo, il nappo comincia a scemarsi, divien curvo e rotondo, e sotto la pressione 32 in 33 centimetri si chiude interamente, n. 4; in questo caso il suo diametro è di 40 in 45 centimetri.

4°. Diminuendosi sempre più la pressione, il nappo si tien chiuso ma si va facendo sempre di minor diametro, fino alla pressione di 10 in 12 centimetri; da questo punto muta rapidamente di aspetto, si rialza sul disco, n. 5, poco dopo riprende la forma di prima, n. 6, indi un'altra volta si rialza, così per 7 o 8 volte passa da una forma all'altra, sempre decrescendo in volume fino a che interamente sparisce.

Questo notevole fenomeno non potendo per molto

tempo esser sottoposto all' osservazione, mercè di un semplice tubo nel quale il livello del liquido continuamente si abbassa, il signor Savart ha ideato un mezzo per mantenere una data pressione per quel tempo che l' esperienza richiede, e questo è quello che ci faremo a descrivere.

$t t'$ (fig. 138) è il tubo al cui estremo inferiore in una lamina sottile si adattano le cannelle espresse sotto la figura 138 n. 2 e 3. Questo tubo è alto 4^m, 5, ed ha il diametro di 54^{mm}; il suo estremo superiore s' immette nel fondo di un riserbatoio dove il livello è tenuto sempre alla stessa altezza mercè un sifone a chiavetta il quale versa il liquido nella cassa c , e per mezzo del risciacquatoio d ; una grossa chiavetta r corredata di un asta e di un manico s serve a convenevolmente moderare la quantità di acqua che il riserbatoio al tubo somministra; da ultimo per graduare la pressione, il tubo $t t'$ porta una specie di manometro $m n o p q$ fatto nel modo seguente: le parti $m n o p q$ son di vetro, la parte intermedia $n o$ è di rame; un buco h fatto lateralmente a questa, verso la sua parte inferiore, il quale si chiude con un cavicchio, serve a porre o a torre a piacimento la comunicazione con l' aria esterna; si versa del mercurio fin che giunga quasi alla metà dell' altezza delle due braccia op , pq . Ciò posto, il buco h essendo aperto, il mercurio si terrà alla stessa altezza nelle due braccia del manometro, e la pressione atmosferica opererà sulla colonna liquida contenuta nel tubo tt' e nel braccio mn , che sempre con esso comunica; ma chiudendo il buco, è chiaro, che con lo sgorgar dell' acqua dalla parte inferiore del tubo tt' , il mercurio ascenderà nel braccio op abbassandosi nell' altro pq , mentre si abbassa anche il livello dell' acqua nel tubo mn . Sia z la differenza di altezza del mercurio contenuto nelle due braccia e p la pressione atmosferica: l' aria interna sarà sotto una pressione espressa da una colonna di mercurio $p-z$, ovvero da una colonna d' acqua $(p-z) d$,

essendo d la densità del mercurio, e però nello stato di quiete la pressione che si opera dalla parte di sopra del foro avanza la pressione atmosferica di $a \cdot dz$, esprimendo con a l'altezza dell'acqua nel tubo tt' . Mercè di questo avanzo di pressione il liquido sgorgerebbe se il tubo tt' fosse molto largo talchè la velocità in esso fosse picciolissima; e potendosi, con aprire proporzionalmente la chiavetta r , lo stesso avanzo di pressione per molto tempo serbare, si giunge a produrre fenomeni durevoli i quali si posson comodamente osservare.

Con questo strumento il Signor Savart ha potuto fermare i risultamenti che seguono per la temperatura 0° .

1° I nappi aperti e levigati, sia qualunque il foro, s'ingenerano ad una pressione quasi doppia di quella necessaria pe' nappi chiusi. 2° I diametri de' nappi chiusi sono pressochè proporzionali a quelli de' fori. 3° I nappi chiudonsi sotto pressioni tanto maggiori per quanto minori siano i fori.

Il Signor Savart ha del pari dimostrato che da 10 o 20 millimetri l'aumento di distanza del disco dal foro ingenera fenomeni analoghi a quelli di un aumento di pressione, o reciprocamente; che la temperatura influisce sul maggior diametro de' nappi, che ad 1° , o 2° è minore di quello che sarebbe a 0 , e specialmente molto più piccolo di quel che sarebbe a 4° ; che la natura del liquido ingenera una più sensibile varietà, come si può vedere sperimentando con alcool, olio, etere, mercurio ed in particolare con l'acqua medesima, perciocchè con l'aggiungervi picciola quantità di acido s'impedisce perfettamente la formazione de' nappi. Il Signor Savart ha esaminati anche gli effetti dell'urto della vena fluida sur alcuni altri corpi e particolarmente sur un cilindro di vetro di 27 millimetri di diametro; le figure 148, 149, 150, 151, e 152 indicano i risultamenti che sonosi avuti in tal congiuntura, facendo sgorgare il liquido da un foro di 3 millimetri, sotto una pressione di 152 centimetri, secondo che la vena sempre orizzontale e perpendicolare al cilindro lo veng

a colpire più sopra o più sotto: presso ad ogni figura si è indicato il taglio del cilindro riportato sopra una scala più grande, ed il punto di unione del getto.

100. *Dell'urto di due vene fluide opposte.* Riconosciamo anche dal Signor Savart la cognizione dei molto importanti fenomeni nascenti dall'urto di due vene fluide opposte (*Ann. de Phy. e de Chi. t. 55*). Nell'estratto che faremo di questo bel lavoro, ci verrà dato appena di porgere un'idea de' risultamenti più generali e più importanti nel medesimo contenuti. Il principale strumento in coteste sperienze adoperato è espresso dalla figura 135: esso è composto di due serbatoi cilindrici *a*, *a'* alti 1^m, 37 e di 0^m, 22 di diametro, posti l'uno all'altro di rincontro distanti fra loro per 30 in 40 centimetri: ne' cannelli *b*, *b'* si adattano i tubi cilindrici *c*, *c'*, agli estremi de' quali si uniscono a vite gli orifizi; intorno a' margini di questi tubi essendovi della canapa si potranno dare agli assi degli orifici direzioni del tutto coincidenti, ovvero lievemente inclinate in su.

Vasi dello stesso diametro, orifici eguali. Ridotte eguali le pressioni si aprano gli orifici, i quali potranno avere il diametro da 3 fino a 6 millimetri, e tosto che le vene si urteranno, si vedrà nel mezzo dello spazio che separa gli orifizi un bel nappo piano, il quale si mostrerà fregiato di aureola, ovvero levigato, a tenore della pressione, ed il suo maggior diametro corrisponde ad una determinata pressione sotto la quale si vede tutto levigato e trasparente. Le pressioni le quali generano i maggiori diametri de' nappi sono in ragion reciproca di quelle degli orifizi: così per gli orifizi di 6^{mm} e di 3^{mm}, le pressioni sono 55 a 65 centimetri e di 105 a 120. Dopo che si è avuto il maggior diametro, sono i diametri proporzionali alle pressioni per uno stesso orifizio, e per orifizi differenti, alle ampiezze di essi.

Se da una parte la pressione si mantenghi costante mentre dall'altro vada scemando, si osserveranno i seguenti fenomeni:

Nell'aprire gli orifizi, le pressioni essendo eguali, il nappo apparirà nel mezzo dell'intervallo di quelli, ma sarà tosto spinto verso l'orifizio del vase il cui livello si è abbassato, giungerà sulla superficie di quello, e riprodurrà i fenomeni della vena fluida che urta un piano: cioè il nappo sarà conico e cinto di aureola, sotto gagliarda pressione; curvo, levigato ed aperto sotto una pressione minore; e finalmente, levigato e chiuso essendo la pressione debolissima. Si vedrà intanto il liquido nel vase che non ne riceve starsene quasi allo stesso livello dell'altro, onde il nappo interamente lo chiude, e si ha in questo caso il singolare fenomeno di una colonna in quiete che si equilibra con un'altra in moto e dell'altezza medesima. Ciò è vero anche nel caso che la vena abbia una sezione alquanto minore di quella della colonna che sta in quiete, ed anche nel caso che il liquido in quiete sia più o meno denso di quello in moto, purchè le altezze delle colonne siano, come per l'equilibrio statico, in ragione reciproca delle densità.

Orifizi eguali, vasi disuguali. Allorchè i due vasi hanno differenti diametri, il libero sgorgare cioè quello che si fa senz'aggiungere nuovo liquido a' vasi, presenta delle alternative facili a comprendere; il piccol vase allora si voterà con una velocità periodicamente variabile.

Orifizi disuguali, vasi eguali. Comunicando tra loro i due vasi perchè si serbi ne' medesimi lo stesso livello, si vedrà che se il diametro dell'orifizio maggiore non sia più del triplo di quello dell'orifizio minore, il nappo presenterà i fenomeni indicati dalla figura 145 n. 1, 2 e 3; vale a dire che se il nappo sia conico per gagliarde pressioni, n. 1, diverrà poscia levigato e curvo, n. 2, per pressioni minori, e finalmente si chiuderà, n. 3, se le pressioni anche di queste minori divengano.

Il signor Savart ha ricavate anche le seguenti illusioni da un'altra serie di esperienze fatte sulla pres-

sione delle vene liquide e sulla rapidità con la quale si compone l'equilibrio tra due vasi l'uno pieno e l'altro vòto, ponendosi in comunicazione per mezzo di una vena liquida.

1°. La velocità di tutte le molecole che compongono un segmento perpendicolare all'asse della vena è perfettamente la stessa.

2°. La pressione geuerata da una vena spinta in giù sopra un piano che le sia perpendicolare, il cui diametro sia eguale a quello che ha la vena nell'incontrare il piano anzidetto, è misurata dal peso di una colonna d'acqua alta quanto la distanza che passa tra il piano urtato ed il livello del liquido nel riserbatoio, che abbia il diametro quanto quello che ha la vena nell'incontrare il piano suddetto.

3°. La pressione ingenerata dalla vena diventa tripla di questa quantità, allorchè opera su di un piano orizzontale avente il diametro eguale a quello del sottill nappo prodotta dall'aprirsi del getto; ed è solo eguale al doppio di tale quantità, se dalla intera pressione si tolga il peso del nappo anzidetto.

4°. Se la pressione si operi nella concava superficie di un emisfero, può diventar quadrupla del peso della colonna liquida che abbia lo stesso diametro che ha la vena nell'incontrare il corpo che urta, e l'altezza quanto la distanza che passa tra questo punto e la superficie di livello.

5°. Quando due vasi dello stesso diametro aventi eguali orifizi siano in tal modo disposti che la vena liquida sgorgante dall'uno possa cacciarsi entro l'orifizio dell'altro, essendo uno di tali vasi pieno e l'altro vòto, il liquido si ripartisce egualmente tra i due vasi, ed il tempo necessario perchè i medesimi liquidi si riducano alla stessa altezza è quauto i due terzi di quello richiesto perchè avveuga lo stesso allorchè i vasi direttamente comunicauo per un orifizio dello stesso diametro di quello per lo quale il liquido sgorga. Se il vase pieno sia tenuto a livello costante, l'altro che riceve la vena fluida,

anche giunge ad eguagliar la pressione ne' due terzi del tempo che sarebbe necessario per avere cotesta eguaglianza allorchè i vasi direttamente tra loro comunicassero.

101. *Vari strumenti per lo moto de' liquidi.* — Per dare un' applicazione degli antecedenti principi, e della maniera di operare delle pressioni atmosferiche, ci studieremo di far conoscere alcune macchine delle quali suolsi fare un uso frequente.

102. *Del sifone.* — Il sifone è un tubo ricurvo *bs b'* (fig. 153): *bs* è il braccio corto; *sb* il braccio lungo; *at* è il tubo d'inspirazione, l'uso del quale tra poco vedremo, ma che per ora supponiamo che non vi fosse. Se le due braccia sian piene di liquido, ne' punti *b* ed *n* i quali sono allo stesso livello le pressioni saranno eguali; onde in *b'* la pressione sarà maggiore per quanto è il peso della colonna *nb'*. Il liquido sgorgnerà dal braccio lungo mercè questo eccesso di pressione, con quella velocità che avrebbe acquistata cadendo da *n* fino a *b'*.

Finchè in *b* vi sia liquido, questo per la ragione medesima continuerà a sgorgare. Se questo estremo del braccio corto si trovi immerso in un vase ripieno, il vase si vuoterà e la velocità con la quale il liquido sgorgnerà, sarà sempre l'effetto della differente altezza delle due braccia, considerando per altezza di ciascuno la distanza dal sommo *s* al livello del liquido nel quale è immerso. Il tubo d'inspirazione è posto per *adescare* il sifone cioè, per riempirlo e farlo operare. Le figure 154 155 esprimono altre maniere di sifoni detti *coppe di Tantalò*, gli effetti delle quali agevolmente s'intenderanno. Il sifone non è solo di un uso quotidiano nelle arti, ma può essere anche utilmente adoperato per deviare il corso di un fiume (1).

(1) Gioverà dichiarare alcun poco quel che l'Autore ha detto in questo paragrafo. Supponiamo che il sifone, abbin da prima le braccia eguali cioè che sia terminato in *n* (fig. 155), e che il capo *b* sia appena immerso nell'acqua; succhiando l'aria contenuta nel sifone coll'applicare per esempio la bocca in *n*, l'acqua dovrà scendere per

103. *Fontana di compressione* — v. (fig. 156) è un vase di rame di grosse pareti (1); *t*: un tubo cui è unita la chiavetta *r*, questi due pezzi son saldati ed il loro insieme può unirsi a vite al collo del vase *v*: *j* e la cannella per la quale deve uscir l'acqua, la

bs e discendere in *n*, per effetto della pressione che l'aria esercita sulla superficie dell'acqua esterna, la quale non è più contrariata dalla pressione dell'aria interna: giunta l'acqua in *n* sarà spinta in dentro dalla pressione dell'aria che ritorna intera supponendosi tolta la bocca da *n*, ma la pressione in questo punto essendo eguale a quella che l'acqua soffre in *n* dovrà il sifone starsene pieno senza che l'acqua sgorgi per *n*, o ritorni nel vase di prima. Non sarà poi lo stesso se il sifone s'intenda prodotto in *l'*, perciocchè la colonna di liquido *n l'*, viene ad esser contrariata dalla pressione di una colonna d'aria della stessa altezza, quindi dovendo vincere la forza maggiore, l'acqua dovrà sgorgare per *l'* fino a che la superficie di livello non scenda al di sotto di *b*. Ho detto che la colonna liquida *nl'* è contrariata dalla pressione di una colonna d'aria dell'altezza medesima perchè la pressione della colonna atmosferica che parte da *b* e va fino al termine dell'aria è composta in equilibrio con la pressione eguale che opera in *b*. Il tubo di *aspirazione* o *inspirazione* che dir si voglia serve per potere più comodamente succhiare, tenendo chiuso l'orifizio *b*: ma cotesto tubo è assolutamente necessario nel caso che si debban travasare liquidi corrosivi, ed in questo caso giova il rigonfiarlo come si vede espresso nella figura, acciò il liquido anzidetto non giunga fino alla bocca applicata verso l'orifizio *t*. Si potrebbe anche fare uso di una tromba aspirante per rarefare l'aria del sifone.

Ma volendo giovare del sifone per trarre gran copia di acqua da un canale o da un fiume, assai malagevole riuscirebbe di farvi correr l'acqua rarefacendo l'aria: in questi casi si suol fare un buco al sommo della curvatura, per lo quale s'introduce dell'acqua fino a che il sifone, i cui estremi sian chiusi, non sia perfettamente pieno; allora chiudendo l'anzidetto buco ed aprendo gli orifizi, si vedrà l'acqua copiosamente sgorgare.

La tazza o coppa di Tantalò (fig. 154) è un bicchiere entro del quale avvi un piccol sifone, il cui braccio lungo ne penetra il fondo, rimanendo il braccio corto aperto dentro del bicchiere medesimo: versando in questo dell'acqua essa entrerà nel sifone per lo braccio corto, mettendosi entro di esso al livello dell'acqua del bicchiere, ma quando l'acqua versata nel bicchiere avrà coperto il sommo del sifone, quella di dentro premuta di più volterà per la curvatura di esso e quindi scenderà per l'altro braccio, ed il bicchiere sarà volato interamente.

(1) Meglio se sia di cristallo.

essa si unisce a vite sulla chiavetta r , e dal cui orifizio dipende il diametro del getto d'acqua; nn' è il livello dell'acqua nel vase. Mercè un' tromba di compressione che si adatta sulla piastra della cannella al di sopra della chiavetta r , si addensa l'aria nello spazio nan' . Allora la fontana è *caricata*; si toglie la tromba, si ripone la cannella, si volta la chiavetta, e si vede il liquido uscire in zampillo di considerevole altezza, potendo giungere fino a 30 ed anche fino a 100 piedi, se l'aria sia ridotta alla pressione di due ovvero di 5, o 6 atmosfere.

104. *Fontana intermittente.* — r (fig. 157) è il riserbatoio d'acqua, jj' sono le cannelle di scolo, la figura ne mostra solo due; t è il tubo di pressione, il cui estremo superiore s'innalza oltre il livello dell'acqua contenuta nel riserbatoio: p è il piede della fontana, nel quale sta il segreto della intermittenza: ivi si osserva un taglio a mezza luna e all'estremo inferiore del tubo, ed un buco v per lo quale l'acqua passa da un recipiente nell'altro sottoposto. Quando il taglio a mezza luna è scoperto, l'aria entra per lo tubo e preme sulla superficie nn' dell'acqua del serbatoio, ma quanto è coperto dall'acqua che adunasi nel primo recipiente, l'aria non potendo più entrare per lo tubo, la pressione andrà gradatamente scemando nel riserbatoio, l'acqua più non sgorgnerà fino a che il taglio a mezza luna non resti scoperto di nuovo, e l'aria per lo tubo non possa un'altra volta entrare.

Laonde la durata delle intermittenze dipende dalle rispettive ampiezze del foro v e delle cannelle, dall'altezza del taglio a mezza luna e dalla distanza delle cannelle dalla superficie di livello dell'acqua contenuta nel riserbatoio.

105. *Fontana di Erone.* — Questa (fig. 160) è composta di tre vasi, cioè di uno superiore a , di uno medio b , e di un altro inferiore c ; e di tre tubi: il primo x che dal fondo del vase di sopra discende fino a quello del vase di sotto, il secondo y che dal sommo di que-

sto fino alla parte superiore del vase di mezzo s'innalza, ed il terzo z che incomincia dal fondo di questo e finisce a 2 o 3 decimetri sul vase di sopra, e da esso esce il getto d'acqua della fontana di Erone (1).

L'acqua si versa nel vase b per l'orifizio p il quale dopo si chiude; si pone similmente dell'acqua nel vase a , si apre la chiavetta r , ed il liquido si spingerà fino ad un punto di tanto elevato sul livello del vase di mezzo per quanto il livello del vase superiore è elevato al di sopra di quello del vase inferiore. Questa pressione infatti è quella che soffre l'aria che è chiusa nel vase inferiore e nel vase medio (2).

Nella figura 159 si vede un'altra fontana di Erone la cui forma di leggieri s'intende; alcuni tubi di vetro bastano per farla.

106. *Lucerna a gas idrogeno* — Questa lucerna è composta da un recipiente b a lungo collo, capovolto in un vaso più largo v (fig. 158) senza toccarne il fondo, e la giuntura c c' deve essere ben chiusa; un cilindro cavo z z' di zinco circonda il collo del recipiente: l'acqua acidulata della quale è pieno il vase v opera sullo zinco, essa si decompone, sviluppa l'idrogeno che contiene, e per la pressione ognor crescente di questo gas l'acqua è spinta sempre più nel recipiente b fino a che il suo livello non si sia abbassato oltre l'ultima sezione z' dello zinco, allora si sospenderà ogni azione, e si avrà un riserbatoio pieno di gas idrogeno compresso. Volgendo la chiavetta r il gas uscirà per lo esilissimo tubo t , mescolandosi con l'aria

(1) Giova qui avvertire che il tubo z resta aperto presso al fondo del vase b , perciocchè l'acqua deve entrare ed ascendere fino all'orifizio del tubo medesimo. Dicasi lo stesso del tubo x il quale neppure tocca il fondo del vase c , dovendo per questo tubo l'acqua introdursi nel vase suddetto.

(2) Volgendo uno sguardo alla figura di leggieri s'intende come l'acqua del vase a scendendo nel vase c cacci l'aria, che si trova in questo, nel vase b , il quale diviene perciò una fontana di compressione.

atmosferica s' infiammerà toccando una spugna di platino (1).

197. *Tromba aspirante ed elevatoria* — La tromba aspirante (fig. 161) è composta di un tubo di aspirazione *a* di un corpo di tromba *b*, di uno stantuffo *p*, di un tubo di elevazione *s*, e di tre animelle *r*, *t*, *l*, le quali si aprono di sotto in sopra: La prima animella *r* sta nel fondo del corpo di tromba; la seconda *t* nella grossezza dello stantuffo e la terza *l* nella parte inferiore del tubo di elevazione. Il tubo d'inspirazione è immerso nell'acqua che si vuol sollevare, e l'asta dello stantuffo passa per un pezzo e foderato di stoppa e per un altro *g* spalmato di materie untuose. Alzando da prima lo stantuffo la sua animella si chiude, e le altre due *l* ed *r* si aprono, la prima a cagione dell'aria di sopra che si comprime ed esce, la seconda perchè l'aria di sotto dilatandosi passa sotto allo stantuffo: diminuita così la pressione nel tubo d'inspirazione, l'acqua monterà su per la esterna pressione. Dopo di essersi alzato lo stantuffo, facendolo discendere, l'animella di sotto si chiuderà; l'aria compressa nel corpo di tromba aprirà l'animella dello stantuffo e passerà sopra. Di nuovo alzando lo stantuffo l'acqua monterà un poco più, e nel farlo di nuovo discendere uscirà via nuova porzione di aria. Finalmente, se la tromba è ben fatta, l'acqua dopo un certo numero di colpi giungerà sulla prima animella, e spingendosi sempre più urterà la seconda, riducendosi sullo stantuffo. Da questo momento non v'ha più aria nella tromba, la quale perciò opera nell'acqua: ed ogni volta che lo stantuffo sale, innalza

(1) La spugna di platino sta di rincontro alla corrente orizzontale del gas che esce per un forellino fatto all'estremo del tubo *t*. Essa ha la proprietà di arroventarsi allorchè è colpita da una corrente di gas idrogeno, e però rendesi atta ad accendere questo gas. La spiegazione del fenomeno sarà meglio intesa dopo l'esposizione di alcune dottrine delle quali si tratterà in un supplemento: Si può intanto vedere il bisogno che ha la fisica di ricorrere sovente a certe elementari nozioni di chimica.

tutta la colonna d'acqua che tien sopra, e trae seco l'acqua di sotto; sempre che il medesimo scende, la prima animella si chiude, la sua si apre e così per la sua base riceve la colonna d'acqua tirata, per quindi a sua posta sollevarla. Lo sforzo necessario per alzare lo stantuffo si compone di due parti: una è l'attrito, e l'altra eguaglia il peso di una colonna liquida avente per base lo stantuffo medesimo ed alta quanto l'intera altezza cui trovasi l'orifizio per lo quale l'acqua sgorga.

Affinchè una tromba sia buona è mestieri che l'acqua possa ascendere fino alla prima animella r : onde il sito di quest'animella dipende dal grado di rarefazione che si può dare all'aria che trovasi sopra di essa, il che dipende dallo spazio che lo stantuffo percorre e dalla distanza delle due animelle t ed r . Se questa distanza è nulla, il vòto è possibile, ed a rigore l'animella r potrebbe stare per 32 piedi al di sopra del livello dell'acqua che si vuole innalzare. Ma se l'indicata distanza sia di un decimetro e lo stantuffo percorra due decimetri, l'aria per opera della tromba potrebbe esser ridotta a dare una mezza pressione atmosferica, e l'animella r potrebbe al più esser messa per 16 piedi al di sopra del livello dell'acqua. Agevole riesce il calcolare la relazione generale che passa fra questi diversi elementi.

180. *Tromba aspirante e premente a corpo di tromba liscio* — Cotesta tromba (fig. 162) è composta di un tubo d'inspirazione a di un altro di elevazione s ; di un corpo di tromba c e di uno stantuffo p ; ma tiene due sole animelle r ed l , una d'inspirazione l'altra di elevazione, lo stantuffo non è in alcun modo perforato, e con la parte di sopra è sempre in aperta comunicazione con l'aria.

Allorchè lo stantuffo sale, l'acqua è inspirata fin sopra l'animella r ; e quando scende, l'acqua essendo premuta, chiude l'animella r ed apre l'altra l .

169. *Tromba aspirante e premente, a corpo di tromba non liscio* — Cotesta tromba dinotata

dalla figura 163. differisce dalla precedente per la forma e per la maniera con la quale lo stantuffo è accomodato al corpo di tromba. Le due animelle r ed l del tubo d'ispirazione α e di quello di elevazione s sono anche poco diverse; esse offrono una disposizione assai comoda singolarmente per le grandi pressioni: la prima di tali animelle r è composta di due pezzi a cerniere inclinati, i quali quando si alzano per la ispirazione son frattenuti dagli ostacoli i , z , e quando lo stantuffo scende ricadono e restan fermati sul prisma z ; la seconda l è formata da un sol pezzo a cerniera inclinato. L'assetto che al di sopra di questa si vede è ordinato a poter visitare l'animella e mutarla quando l'uopo il richiede.

Il corpo di tromba non è punto liscio perciocchè lo stantuffo non lo tocca.

Lo stantuffo è un perfetto cilindro metallico il quale entra in una cassetta e guernita di stoppa, e nell'altra g spalmata di materia untuosa: e qui è la vera chiusura nella tromba.

È forza assolutamente fare un piccol meato per lo quale possa uscir l'aria che dall'acqua sprigionasi, e che potrebbe render la tromba inetta all'opera riempendone il corpo. Cotesto meato può esser fatto in due modi: o perforando la parete del corpo di tromba, o facendo un buco secondo la lunghezza dello stantuffo il quale poi vada a terminare lateralmente, come si vede nella fig. 163 in ty ; t è la vite di pressione che chiude l'apertura di questo meato.

Il signor Martin ha stabilite di queste trombe a Marly, le quali son lavorate con rara perfezione; per mezzo di esse si fa salire l'acqua all'altezza di 500 piedi sul livello della Senna.

110. *Tromba de' preti.* — In questa tromba fa le veci dello stantuffo una membrana elastica (fig. 164) la quale è fermata col suo lembo, ed ha nel mezzo un'animella metallica s . Quando l'asta t alza la membrana, il liquido è ispirato ed entra per l'animella.

s : al contrario facendo scender l'asta, il liquido stretto fra le due animelle apre l'animella *s'* e passa sullo stantuffo elastico.

Con una di queste trombe si fa ascender l'olio nelle lucerne di Gotten; la tromba in questo caso è disposta nel modo espresso dalla figura 165; *cc rr* indica la sezione verticale di una piccola cassa di rame divisa in due parti dal tramezzo *l*; la parte destra si suddivide sulle lunghezze in tre o quattro piccoli scompartimenti simili a quello dalla figura rappresentato. Una pelle finissima è alternativamente alzata e depressa mercè il filo *f*: quando essa s'innalza, l'olio del riserbatoio *r* entra per l'animella *s*; quando si deprime è premuto e passa per l'animella *s'* per ascender nel tubo *t*. Tre scompartimenti o tre trombe aventi le loro animelle separate son sufficienti perchè il moto sia continuo: l'una è al di sopra della corsa, l'altra nel mezzo, la terza alla fine; e l'olio è quasi continuamente spinto con egual forza nel tubo di elevazione. Le trombe si mettono in moto con un meccanismo analogo a quello degli orologi.

111. *Strettojo idraulico*.—Questa macchina è molto utile nelle operazioni agricole ed industriali, per la qual cosa ci è sembrato necessario di rendere aperti i particolari di sua struttura. Essa viene rappresentata dalle figure 170, 171, 172, 173, 174.

Fig. 173. Alzata generale dello strettojo.

Fig. 170. Taglio verticale.

Fig. 172. Un pezzo di cuojo concavo.

Fig. 171. Pezzi i quali servono ad accomodare lo stantuffo della tromba.

Fig. 174. Particolari della valvola di pressione.

Nello strettojo idraulico vi son due parti distinte, cioè una tromba aspirante e premente che dà la pressione ed un piatto a stantuffo, che la riceve per trasmetterla immediatamente a' corpi che si voglion premere.

La tromba si vede nella sua alzata in *af* (fig. 173) e molto più in grande nel taglio verticale in *af* (fig. 170).

Il piatto a stantuffo nella sua alzata si vede in p' *(fig. 173)*, e molto più in grande nel taglio verticale in p *(fig. 170)* (quì il piatto p' è tolto, e ci resta il solo stantuffo).

La tromba trasmette allo stantuffo p la pressione, mercè il tubo tbu *(fig. 170 e 173)*.

Alzando la leva l *(fig. 173)*, si alza lo stantuffo s della tomba *(fig. 170)*, l'acqua della tincozza b *(fig. 173)* entra per la tromba ad inaffiatoio r *(fig. 170)*, alza l'animella i , e passa sotto allo stantuffo s : quando si preme sulla leva l si fa calare lo stantuffo s , l'acqua preinuta chiude l'animella i , entra nel tubo z *(fig. 170)*, alza l'animella d e passa nel tubo tbu per giungere nel corpo cc' dello strettoio *(fig. 170 e 173)*: ivi esercita il suo sforzo contro lo stantuffo p , e lo fa ascendere insieme col piatto p' , il quale a sua posta preme contro il cielo ef dello strettoio *(fig. 173)*.

Se la sezione dello stantuffo s sia la centesima parte di quella dell'altro p , uno sforzo di un chilogrammo sul primo ne genererà di sotto in sopra uno di 100 chilogrammi sul secondo. Ora per mezzo della leva l un uomo può comodamente produrre sullo stantuffo s uno sforzo di 300 chilogrammi, quindi lo stantuffo può esser facilmente premuto da una forza di 30,000 chilogrammi.

Ecco il principio fondamentale dello strettoio idraulico.

Faremo intanto conoscere come si misurano le pressioni e come siasi giunto a non fare uscire alcun poco di acqua.

Le pressioni si misurano mercè l'animella g *(fig. 170 e 174)*. Conoscendo il peso p , la sua distanza $γf$ dal punto di appoggio f , la distanza xf dal punto col quale la leva preme l'animella, e finalmente la sezione di questa, agevole riuscirà il calcolare la pressione che essa soffre per parte del liquido allorchè si alza la leva fy .

Per non fare uscire il liquido si accomoda con somma diligenza lo stantuffo s ; i pezzi a questo fine or-

dinati si veggono in grande nella *fig. 171*, e le cose son disposte come nella tromba di Martin (*fig. 163* tav. 7). Ma la maggiore difficoltà si trovava nello stantuffo *p*, la quale è stata tolta da Bramah mercè la felice invenzione del cuoio concavo, un taglio del quale si vede nella *fig. 172*. Questo cuoio è disposto in *m m'* (*fig. 170*) in uno spazio anulare fatto appositamente nel corpo *cc'* dello strettoio: dalla sua forma o dalla maniera come sta situato si comprende che questo debba chiudere tanto meglio per quanto più gagliarda sia la pressione, perciocchè questa lo preme verso lo stantuffo che dal medesimo è cinto strettamente, e verso le pareti dello spazio anulare.

La vite *k* serve per far cessare la pressione; allorchè questa si svolta il liquido dal corpo dello strettoio ritorna per lo tubo *ubi* ed esce per l'apertura *v*.

112. *Ariete idraulico*. — Questa macchina la quale fu ideata nel 1797 da quello stesso Montgolfier che inventò gli areostati, non è meno importante, e per lo nuovo principio sul quale è fondata, è pe' grandi vantaggi che può dare. Ci studieremo intanto di far conoscere il principio di meccanica dal quale la sua forza dipende. Qualunque corpo sia solido o fluido essendo animato da una data velocità, supponendo che una parte di esso si arresti, le altre che non sono direttamente trattenuate, sul momento produrranno su quella effetti diversi: quelle dinanzi tenderanno a trarsela appresso, o a separarsene; quelle di dietro nel proseguire l'intrapreso cammino si precipiteranno premendosi le une con le altre, spingendo la parte fermata. Uno strale per esempio che corre con molta velocità se venisse arrestato per lo mezzo, la parte di avanti sforzandosi a trarre la parte arrestata soffrirebbe uno stiramento in tutta la sua lunghezza, per lo quale potrebbe essere spezzato se avesse una considerevole velocità: la parte posteriore al contrario spingendo la parte fermata soffrirebbe una pressione in tutta la sua lunghezza, e tutt' i segmenti di essa sareb-

ber come calcati gli uoi sugli altri. In simil guisa quando una colonna d'acqua si muove per un tubo, ed in un subito venga da un ostacolo rattenuta, essa premerà cotesto ostacolo mercè la velocità acquistata; il primo segmento che lo tocca è innanzi tratto fermato e poscia dal seguente premuto, e così di mano in mano fino alla cima della colonna; durante questo tempo che per altro è brevissimo, il tubo soffre un aumento di pressione laterale in ragione del suo diametro e della velocità dell'acqua, ed è appunto questo aumento di pressione generato dal moto trattenuto, quel che forma la forza motrice dell'ariete idraulico.

II' (fig. 169) è uno tubo nel quale si muove l'acqua di una sorgente con velocità che dipende dall'altezza della caduta; e questo è il *corpo dell'ariete*. L'acqua se non vi fosse alcun ostacolo passerebbe per lo foro v e si disporrebbe secondo il livello nn' , il quale è il natural livello di sotto alla caduta, ma verso questo estremo del tubo si pongon diversi pezzi i quali costituiscono la *testa dell'ariete*: s è un'animella la cui densità è doppia di quella dell'acqua, essa può essere alzata dal moto dell'acqua, ed applicata sull'apertura v ; la quale in questo caso è interamente chiusa; questa è detta *animella di ritenuta* (1). Quando l'animella s è chiusa, l'acqua passa per lo condotto z ed ascende nel vase metallico bb' , d'onde per lo sportellino c passa nella grande campana di metallo hh , per andare finalmente nel tubo di elevazione dek . Ivi essa si fermerebbe, giunta all'altezza del superiore livello della caduta, se non vi fosse una forza motrice che a spingerla più in alto fosse capace. Or questa forza si genera nel modo che segue: l'acqua della sorgente avendo acquistato nello scendere molta velocità, alza l'animella s e chiude l'apertura v ; allora la pressione laterale risultante dal moto trattenuto esercita uno sforzo verso tutt' i punti della parete del tubo. Questa

(1) Detta altrimenti *valvola di arresto o di fermata*. V. Venturoli Elementi; ecc; vol. II.

pressione spinge il liquido in z , lo sportellino c si alza, e l'acqua passa nella campana hh' : la durata di questa elevazione è alquanto protratta dalla reazione della elasticità di tutte le parti della macchina. Tosto lo sportellino c e l'animella s ricadono per lo proprio peso, l'uno chiudendo l'apertura del vase bb' , l'altro aprendo il foro di scolo. La serie degli effetti che rapidamente succedonsi fino a questo punto è ciò che dicesi *colpo di ariete*. Ricominciando lo scorrere naturale del liquido, tosto se ne accresce la velocità; l'animella s sarà di nuovo alzata, e gli stessi fenomeni ritorneranno. Facendo dei saggi si determina la disposizione de' pezzi e specialmente il moto da dare all'animella s perchè si abbia il maggiore effetto possibile. L'altezza cui con questa macchina possa esser l'acqua innalzata, dipende dal diametro del canale e dalla velocità che può avere nel passar per esso.

Si vede in p uno stantuffo il quale serve per fare entrare in i nel vase bb' nuova quantità di aria quando quella ivi esistente si sia a poco a poco dissipata: l'aria entra da se stessa ed anche per la maniera ond'è formata la macchina.

Sembra che nella pratica l'ariete dia più del 60 per 100 della forza effettiva dell'acqua della sorgente, il che corrisponde presso a poco a quello che posson dare le migliori ruote a cassette nell'atto che le ruote a pale mosse di sotto danno solo il 25 o il 50 per 100(1).

SUPPLIMENTO 5°.

Avendo reputato utile di allargare alquanto le materie dall'Autore trattate ne' due precedenti capi, non ho stimato farlo nelle note per non distrarre continuamente l'attenzione del lettore; per la qual cosa dirò in questo supplimento alcune cose che con le antecedenti strettamente congiungonsi.

(1) V. Poncelet Memorie sulle ruote idrauliche a pale curve mosse di sotto.

Dal principio di Archimede, del quale si è innanzi discorso, parecchie utili verità derivano.

1°. Le perdite di peso di due solidi immersi in uno stesso liquido sono proporzionali a' volumi (1).

2°. Conoscendo il peso assoluto del solido e la perdita di peso che soffre per l'immersione in un dato fluido, si conoscerà la ragione tra la gravità specifica del solido e quella del fluido, imperciocchè in questo caso si conosce il diverso peso del solido e del liquido sotto eguali volumi (2).

3°. Se uno stesso solido s'immerga in diversi fluidi, è chiaro che le diverse perdite di peso che soffrirà noteranno il diverso peso de' fluidi medesimi sotto lo stesso volume, ed in conseguenza le gravità specifiche de' fluidi anzidetti. L'applicazione di questi principj si vedrà nel volume seguente ove si parlerà della maniera di determinare le densità, o gravità specifiche de' corpi (3).

(1) Dicesi gravità specifica de' corpi il loro diverso peso sotto lo stesso volume. Ora data la gravità specifica del fluido e la perdita di peso del solido per la immersione si potrà conoscere il volume del solido. Infatti detto V questo volume, è g la gravità specifica del liquido, sarà il peso di un volume di liquido eguale a quello del solido espresso da Vg , onde se sia p il peso perduto per l'immersione si avrà $Vg = p$ e quindi $V = \frac{p}{g}$

(2) Se sia V il volume di un solido e G la sua gravità specifica, il suo peso sarà espresso da VG , e detta g la gravità specifica di un egual volume di liquido, sarà Vg il peso di questo; e per le cose dette è chiaro che il peso che resterà al solido immerso nel fluido sarà espresso da $VG - Vg$, onde detto p questo peso avremo $VG - Vg = p$, e quindi $VG - p = Vg$. Se quest'ultima equazione si moltiplichi per G si avrà $(VG - p)G = GVg$ donde $G : g = GV : GV - p$; cioè la gravità specifica del solido immerso sta a quella del fluido, come il peso assoluto di questo solido alla perdita di peso per la immersione sofferta. Or se la gravità specifica del fluido si prenda per unità, l'antecedente analogia resterà espressa così, $G : 1 = GV : GV - p$, donde si avrà $G = \frac{GV}{GV - p}$, espressione della gravità specifica del solido.

(3) Essendo $VG - p = Vg$; quando lo stesso solido venga

4°. Se nello stesso fluido s'immergano due solidi di diversi volumi, è chiaro dover questi soffrire perdite di peso proporzionali a' loro volumi, onde se le perdite siano eguali, eguali dovranno anche essere i volumi. E poichè ne' corpi omogenei i volumi sono come i pesi, ne segue che prendendo due pezzi d'oro, per esempio, dello stesso peso ed immergendoli nell'acqua questi dovranno soffrire le stesse perdite; ma se uno di questi pezzi sia di oro puro ed un altro di una lega per esempio di oro e rame, o di oro ed argento, le perdite di peso non saranno più eguali, perchè sotto lo stesso peso assoluto non avranno eguali volumi. È fama che Archimede partendo da questo principio scoprisse esservi della lega nella corona d'oro fatta per Gerone re di Siracusa (1).

5°. La gravità specifica di un solido può essere eguale maggiore o minore di quella di un fluido nel quale questo solido sia immerso. Ora la spinta verticale pareggiando sempre il peso del fluido rimosso, segue dovere nel primo caso il solido rimanere immobile nel fluido a qualunque altezza. Nel secondo caso poi distruggendosi solo una parte del peso del solido, esso scenderà col residuo, purchè questo non resti distrutto dalla resistenza della quale si è altrove discorso, resistenza la quale, poste le altre cose eguali, è proporzionale alla superficie perpendicolare alla

immerso in un altro liquido, si avrà similmente $VG - p' = Vg'$, e quindi

$$Vg : Vg' = VG - p : VG - p'$$

ossia

$$g : g' = VG - p : VG - p'.$$

(1) Nel determinare quant'oro e quanto argento la corona di Gerone contenesse, Archimede forse ragionò nel seguente modo. Sia p il peso della corona ed m il suo peso perduto nell'acqua: sia x la quantità dell'oro dalla medesima contenuto, y quella dell'argento. Prese due altre masse una di puro oro, e l'altra di puro argento entrambi del peso p , e sia d il peso perduto nell'acqua dalla prima, c quello perduto

linea del moto. Nel terzo caso finalmente la spinta verticale essendo maggiore del peso del solido, questo sarà menato verso la superficie, ed allora si terrà fermo quando con la parte immersa occupi un volume il quale essendo occupato dal fluido avrebbe un peso quanto quello dell'intero solido.

Ma perchè tali effetti sian prodotti è mestieri che le pressioni dalla differenza delle quali la spinta verticale dipende, possano liberamente esercitarsi: onde avviene che se nel fondo di un recipiente si adatti un pezzo di legno ben piallato, e poi si empia questo recipiente di acqua, il legno quantunque più leggiero resterà al fondo; per una ragione analoga l'otturatore nell'esperimento descritto nel §. 58 può stare immerso nell'acqua senza cadere, tuttochè di questa fosse più grave.

De' piccioli aghi tenuti in posizione orizzontale e fatti gentilmente cadere sulla superficie dell'acqua restan galleggianti come fosser di legno o di altra leggerissima materia, e questo secondo il Rumford ac-

della seconda: è chiaro dover essere il peso della massa di puro oro al suo peso perduto, come quello dell'oro contenuto nella corona, al peso perduto dallo stesso nell'acqua, cioè $p : d = x : \frac{dx}{p}$, onde il peso perduto nell'acqua dall'oro contenuto nella corona sarà espresso da $\frac{dx}{p}$: similmente si troverà essere $\frac{cy}{p}$ quello perduto dall'argento. Ma la somma di questi pesi perduti debbono eguagliare il peso m perduto dalla corona, si ha perciò -

$$\frac{dx}{p} + \frac{cy}{p} = m;$$

ma il peso dell'oro e dell'argento fanno il peso p della corona; si ha dunque

$$x + y = p,$$

dalle quali equazioni si ottengono facilmente i valori di x ed y .

In tutto questo si suppone essere la somma de' volumi de' due metalli separati eguale al volume totale de' due metalli uniti, il che non è generalmente vero.

cade perchè l'attrazione molecolare ingenera come una pellicola sulla superficie di una massa di acqua, sulla quale i piccoli aghi possono tenersi: ma di ciò sarà discorso altrove.

Se si volesse coll'esperienza comprovare che i galleggianti ridotti in equilibrio restano immersi di tanto nel fluido in cui galleggiano da rimuoverne un volume che pesi quanto pesano essi, si potrebbe nel seguente modo operare. In un vase non interamente pieno di acqua s'immerga per esempio un cilindretto di cera, questo galleggerà, e l'acqua salirà alquanto sul primiero livello. Si noti quest'altezza allorchè il galleggiante si è composto in equilibrio, e si pesi il vase con l'acqua e col cilindro. Tolto poi il cilindro l'acqua tornerà all'antico livello, allora se ne infonda dell'altra fino a che nuovamente si abbia il livello segnato, è chiaro bisognarcene tanta per quanta ne rimuovea la parte immersa del cilindro. Or si ripesi il vase dopo di avervi aggiunta quest'acqua si troverà pesare quanto pesava allorchè vi era immerso il cilindro; donde apparisce pesare il cilindro quando l'acqua da esso rimossa (1).

(1) Questo fatto si può tradurre in equazione facilmente, imperocchè detto V il volume del galleggiante v la porzione che rimane immersa nel fluido, e g, g' le gravità specifiche del solido e del fluido, saranno gV il peso del solido e $g'v$ quello del fluido rimosso, e quindi nel caso di equilibrio $gV = g'v$, donde si ricava $v = \frac{gV}{g'}$. Onde data l'altezza a di un prisma galleggiante, la base b , e le gravità specifiche g, g' , si potrà trovare l'altezza x della parte immersa, imperciocchè si avrebbe in questo caso

$$v = b x = \frac{gV}{g'} = \frac{abg}{g'}, \text{ ossia } x = \frac{ag}{g'};$$

L'equazione $v = \frac{gV}{g'}$ è rigorosamente vera nel voto, giacchè nell'aria è da tener conto di un'altra spinta, essendo anche l'aria un fluido. Un'altra correzione merita l'equazione medesima per l'innalzamento o depressione del liquido intorno al galleggiante per la capillarità.

Non si durerà poi molta pena ad intendere, che se uno stesso galleggiante s'immerga successivamente in due fluidi diversi, s'immergerà di più in quello che è più leggiero e di meno nel più pesante, ovvero le gravità specifiche de' due fluidi saranno fra loro in ragione reciproca delle parti del galleggiante immerse negli anzidetti fluidi (1). Quindi se una barca molto carica passi dal mare in un fiume potrebbe rimanervi sommersa.

Dalle cose finora discorse apparisce due essere le condizioni di equilibrio de' galleggianti, la prima che si abbia $gV = g'v$ cioè che il solido s'immerga in guisa da rimuovere un volume di fluido che pesi quanto l'intero solido, l'altra che i centri di gravità del solido e della parte immersa siano nella stessa verticale; ma perchè questo equilibrio sia stabile si richieggono altre condizioni intorno alle quali mi taccio, contento di averne data un'idea nella nota al §. 87 bis, dove si è avvertito in generale, aversi la stabilità, se il centro di gravità del galleggiante sia al di sotto di quel punto che dopo il Bouguer in architettura navale fu detto metacentro.

II.

Allorchè un liquido sgorga per un foro fatto nel fondo o nella parete del vase, esso si può considerare come spinto dalla pressione del liquido soprastante, qualora il foro sia picciolissimo; ed è in questo caso che ha luogo la dimostrazione del teorema di Torricelli. Che se i fori da quali si fa escire il liquido sian molto ampi, non essendo più la velocità dello sgorgare prodotta dal peso della colonna liquida che sta al di sopra del foro, devesi ad altro ragionamento ricorrere per poterla valutare.

Supponendo dunque i fori picciolissimi si può il teo-

(1) Essendo $gV = g'v$ o $gV = g''v'$, si avrà $g'v = g''v'$ ovvero $g' : g'' = v' : v$.

rema di Toricelli facilmente dimostrare. Sia il vaso CABF pieno d'acqua insino a PG (*Tav. agg. fig. 35*), e nel suo fondo orizzontale sia aperto un piccol foro. Sarà manifesto dovere al primo istante uscirne la vena o cilindretto d'acqua DRET costantemente gravato dalla colonna DH dello stesso liquido che al foro anzidetto sovrasta. In oltre si consideri un altro cilindretto *dret* di materia dura eguale in densità e volume alla vena RDET, il quale cada liberamente nel vòto finchè descriva uno spazio eguale al suo asse. Sarà la forza acceleratrice della vena DRET alla forza che ne accelera il cilindretto *dret*, come la colonna o cilindro d'acqua DH al cilindretto *dr*. Imperocchè la vena è spinta fuori del vase dalla divisa colonna, laddove il cilindretto discende gravato del proprio peso. Ma gli spazietti DT, *dt* si son supposti eguali; le velocità dunque di tali corpi alla fine di questi spazietti saranno come le radici di queste forze, ovvero come la radice di DK alla radice di *dt*, avendo i cilindri la stessa base. Potendosi lo stesso ragionamento applicare a' fori fatti nelle pareti de' vasi, si può generalmente concludere essere le velocità dei liquidi nello sgorgar per fori fatti ne' fondi o nelle pareti de' vasi in sudduplicata ragione delle altezze di livello (1).

» Sesto Giulio Frontino, dice il nostro illustre
 » N. Fergola, che fin da' tempi di Vespasiano scrisse
 » sugli aquidotti di Roma si avvide; che la velocità
 » dell'acqua uscente da un riservatojo dovea essere
 » maggiore o minore, secondochè questo fluido vi
 » avea più o meno di altezza, ed il P. Benedetto
 » Castelli che fu uno de' primi discepoli del Galilei,
 » e primo maestro del Torricelli, ragionando con me-
 » todo geometrico sulla misura delle acque correnti,
 » stabili come un principio di esperienza che le velo-
 » cità delle acque sgorganti da' vasi ov' esse conten-
 » gonsi debban seguire la semplice ragione delle al-

(1) Fergola Prelezioni ecc.

» *tezze di tali liquori.* Ma era riserbato al Torricelli
 » di rettificare questa legge idraulica . . . e di cono-
 » scer l' assoluta misura della velocità di un fluido
 » zampillante, ch'è quanto quella di un grave lascia-
 » tosi liberamente cadere dall' altezza del fluido sul foro.

Dalla dottrina del moto de' gravi poi rendesi aperto, che il liquido uscito da un foro muovendosi con moto uniforme percorrerebbe uno spazio quanto la doppia altezza di livello nello stesso tempo in cui un grave scenderebbe per l' altezza medesima.

Supponiamo che nel vase CB (*Tav. agg. fig. 35*) il liquido sia tenuto costantemente al livello PG, quantunque ne sgorgi per lo foro RD, il che può farsi in vari modi siccome fu altrove notato. Conoscendosi l' altezza KD si potrà conoscere il tempo che un grave impiegherebbe a discendere per essa, ora per le cose dette apparisce nello stesso tempo dovere uscire per lo foro RD un prisma acqueo avente per base l' area del foro e lungo quanto $2KD$. E poichè nel caso del livello costante le quantità di acqua che escono dallo stesso foro si possono considerare come proporzionali a' tempi, così agevole riuscirà il determinare la quantità di acqua che deve uscire dall' anzidetto foro in un determinato tempo. Questa però sarebbe la portata teorica, $i^{\frac{5}{4}}$ della quale darebber poi l' effettiva (1).

(1) Dicasi s l' area del foro, a l' altezza di livello costante dell' acqua contenuta nel vase, q la quantità di acqua che ne sgorga in un tempo t , e t' il tempo che un grave impiega nel discendere per un altezza data a' ; si avrà $\sqrt{a'} : \sqrt{a} = t' : \frac{t' \sqrt{a}}{\sqrt{a'}}$, e questo sarà il tempo che un corpo impiegherebbe a discendere per KD. Ora durante questo tempo deve uscire dal foro RD un prisma o cilindro che abbia s per base e per altezza $2a$, e però la quantità di liquido che sgorgar deve nel tempo $\frac{t' \sqrt{a}}{\sqrt{a'}}$ sarà espressa da $2sa$. Laonde le quantità di liquido che sgorgar debbono ne' tempi $\frac{t' \sqrt{a}}{\sqrt{a'}}$, e t essendo tra loro come questi tempi, avremo $\frac{t' \sqrt{a}}{\sqrt{a'}} : t = 2sa : q$, donde ricavasi $q = \frac{2ts \sqrt{aa'}}{t'}$. Delle sei quantità che entrano in questa

Ma se il vase non sia tenuto a livello costante, ognun vede la velocità e la portata dover decrescere, e quindi esservi molti altri problemi a risolvere; su i quali non m'intrattengo inviando gli studiosi alla più volte citata opera del Bössut, dove tra le altre cose vedranno come un cilindro essendo alto 144 pollici, dividendone l'altezza in 12 parti secondo la serie 23, 21, 19, 17, 15 ec. si avrebbe una clepsidra o orologio ad acqua. Si potrebbe anche fare un vase di tal figura che in tempi eguali il liquido si abbassasse egualmente (1).

Tutte le antecedenti dottrine intorno allo sgorgar de' liquidi debbono valere nei soli casi ne quali l'ampiezza del foro non oltrepassi $\frac{x}{20}$ di quella del fondo del vase, imperciocchè nel caso di ampie aperture l'uscita del liquido non è più dalla pressione della colonna superiore cagionata, mancando la resistenza delle ultime sezioni falde o *strati* che dir si vogliano, assolutamente necessaria perchè le parti superiori possano sulle inferiori esercitare la loro pressione. Ogni particella

formola se ne conoscono due cioè $t' = 1''$, ed a' la quale espressa in metri è eguale a 4^m , 9 circa siccome si è detto altrove: onde delle altre quattro t , s , a , q semprechè se ne conoscano tre, se ne potrà conoscere la quarta. Quindi per un altro vase si avrebbe parimente $q' = \frac{2ts'\sqrt{aa''}}{t'}$, e però le quantità di acqua che uscir debbono nello stesso tempo daranno la seguente analogia, cioè

$$q : q' = s\sqrt{a^3} : s'\sqrt{a'^3}.$$

Così sapendosi dall'esperienza che da un foro circolare di un pollice di diametro fatto in una parete sottile sotto l'altezza di livello di 4 piedi escono 5436 pollici cubici di acqua, volendo conoscere quanta ne dovrà uscire da un foro di 2 pollici di diametro posto sotto la superficie di livello per 9 pollici, intavolerò quest'analogia, $1 \times \sqrt{4} : 4 \times \sqrt{9} = 5436$ pollici cubici ad x , e quindi avrà $x = 52616$ pollici cubici di acqua.

(1) V. Fergola Prelezione ecc.

di liquido ubbidisce in questo caso alla gravità propria, ed all'azione delle particelle contigue. Se per esempio si togliesse il fondo di un vase prismatico; il liquido cadrebbe senza aver bisogno di alcun impulso superiore. Nella varietà de' casi gioverà meglio interrogar l'esperienza. Volendosi de' lumi intorno a questa materia si potranno consultare le opere del Bossut, del Prony, del Navier, del Brunacci, del Bidone, del Poncelet ed altri, nelle quali si troveranno de' dati sperimentali alla pratica utilissimi.

IV.

Se ad uno de' fori considerati finora si adatti una cannella lunga quanto due o tre diametri del foro medesimo, la portata renderassi alquanto maggiore particolarmente se la cannella segua l'andamento della vena contratta, o se sia inclinata in vece di essere orizzontale. Ma se le cannelle sian molto lunghe ovvero sian de' condotti, risulta dall'esperienza, le quantità di acqua sgorgate in tempi eguali da uno stesso condotto orizzontale sotto una stessa altezza di conserva, ma a diversa distanza dal foro per lo quale l'acqua esce da quella, essere tra loro prossimamente in ragion reciproca delle radici quadrate di queste distanze. Se l'andamento de' condotti segue linee tortuose, o ripiegate ad angoli, la portata diminuisce anche di più. E segnatamente il moto dell'acqua soffre maggior ritardo ne' condotti che serpeggiano verticalmente che in quelli che serpeggiano orizzontalmente, e la piegatura la meno nociva si è sperimentata quella che fa l'angolo d'incidenza eguale all'angolo di riflessione.

Spesso accade di dover conoscere l'effetto dell'urto di una vena fluida. Il Bossut dice risultar dalla esperienza che l'urto perpendicolare e diretto di un fluido qualunque contro un piano in quiete è sensibilmente eguale al peso di una colonna di questo fluido che abbia per base la superficie urtata e per altezza l'altezza

dovuta alla celerità con cui urta. Dopo, il Signor Zulliani per via di ripetute esperienze ha trovato, che una lastra esposta all'urto di una vena d'acqua corrente riceve un urto eguale al peso di un cilindro che abbia per base la superficie urtata, e per altezza il doppio dell'altezza dovuta alla celerità, se la lastra abbia un'ampiezza notabilmente maggiore di quella della vena, di $\frac{3}{4}$ di quest'altezza se la lastra sia quasi della stessa ampiezza della vena. Il Signor Morosi poi ha scoperto, potersi accrescere di molto l'effetto dell'urto contro la suindicata lastra contornandola con un orlo rilevato; e l'aggiunta di quest'orlo, secondo i calcoli del Venturoli, può render l'urto eguale al peso di un cilindro fluido che abbia la base quanto la superficie urtata e l'altezza quanto il quadruplo di quella dovuta alla celerità.

V.

Oltre alle macchine mosse dall'acqua che pur diconsi macchine idrauliche ed oltre alle trombe delle quali si è altrove discusso, altre ve n'ha che servono anche ad innalzare l'acqua, quali sono gli *altaleni idraulici*; la così detta *noria*, i *bindoli idraulici*, i *timpani idrovori*, e le *coclee idrovore*, cui si può anche aggiungere la *macchina a corda*, altrimenti detta *macchina di Vera*.

Darò solo un'idea della coclea di Archimede e della macchina di Vera, non essendomi permesso di estendermi tanto intorno a questa materia.

La coclea di Archimede è un cilindro intorno al quale si avvolge un tubo spirale curvato ad elica, il quale comincia ad un capo del cilindro, e termina all'altro. L'anzidetto cilindro si pone inclinato all'orizzonte, e si dispone in guisa che con una sua base peschi ma non del tutto nell'acqua. Rivolgesi poi intorno del suo asse in modo che l'estremo inferiore del tubo

possa successivamente immergersi nell'acqua ricevendone una porzione per volta. Proseguendo così, l'acqua si va innalzando nel tubo spirale, e va ad uscire per l'orifizio superiore di esso.

Non è difficile l'intendere come accada che l'acqua s'innalzi in questa macchina. « Immerso il foro » del tubo, la spira nel voltarsi riceve una porzione » dell'acqua che vi entra, ed ivi come per un piano » inclinato discende, empiendo la più bassa parte della » spira. Dicesi questa parte *arco idroforo*. Seguitando » la conversione del cilindro, l'arco idroforo emerge » dal livello del recipiente seco traendo l'acqua rin- » chiusavi, la quale segue tuttavia discendendo pel » proprio peso verso la parte opposta alla direzione » del movimento del cilindro, e così va scostandosi » dalla spira inferiore. Questa intanto seguendo il giro » del cilindro torna ad immergersi col suo foro, e tor- » na a riempire l'arco idroforo ed a sollevarne l'ac- » qua. Quest'acqua non può più raggiunger la prima » che in questo frattempo si è avanzata per le spire » dell'elice, rimane fra le due uno strato d'aria in- » trodottasi nel tempo che il foro del tubo rimase fuor » d'acqua. Così perpetuandosi il giro, altre ed altre » correnti d'acqua si vanno succedendo con altrettanti » tratti aerei. E queste giungendo l'una dopo l'altra » alla cima, si scaricano con getto intermittente dal fo- » ro superiore (1).

La teoria matematica di questa macchina fa conoscere quale inclinazione debbano avere le spire intorno al cilindro; perchè si abbia l'effetto.

Vitruvio descrisse la maniera di fare la coclea o vite di Archimede, e Daniele Bernoulli propose alcune modificazioni per le quali si avrebbe una portata maggiore.

Nel 1780, un tal Vera attingendo l'acqua dal suo pozzo vide che una porzione di fune bagnata traeva

(1) Venturoli Elem. di Mecc. vol. II.

seco una notabile quantità di acqua, egli tosto si avvisò di far girare velocemente una fune intorno a due carrucole fisse, l'una delle quali fosse immersa nell'acqua e l'altra al punto ove voleasi che questa ascendesse, e la sua idea ebbe un felice successo. Per non far disperdere l'acqua che la fune ascendente abbandona nel passare per la girella superiore si chiude questa in una cassetta alla quale è unita una cannella di scolo. Ognuno comprenderà che facendo rotare la girella superiore si avrà il moto della fune necessario per conseguire l'effetto.

SUPPLEMENTO 7°.

Del moto de' fiumi.

Molti classici autori italiani hanno scritto intorno a questo argomento, le opere de' quali consulteranno coloro che bramassero di acquistare estese cognizioni attenenti alla teorica de' fiumi, restringendomi alla dissamina di alcuni più generali fenomeni.

La teorica de' fiumi deve esser fondata più sull'esperienza che sul calcolo, ma ciò non pertanto riceve dalle dottrine idrostatiche ed idrodinamiche molti schiarimenti.

I nostri scrittori sovente distinsero i fiumi in *liberi* ed *impediti*; dicendo liberi quelli che in tutto il lor corso non incontrano ostacoli da ritardare gran fatto il loro moto naturale, ed impediti quelli il corso de' quali è notabilmente alterato dalle scabrosità del letto da' giri tortuosi o da altri simili ostacoli. Ora pare che solo la nostra astrazione possa creare de' fiumi liberi non essendovene forse neppure uno in natura che possa come tale esser tenuto, per la qual cosa si potrebbe per avventura cotesta distinzione come del tutto oziosa reputare: ma qualora si voglia por mente ad alcune particolari congiunture per le quali è forza partire da questa considerazione astratta, e ricordarsi che

i nostri antichi Idraulici , applicando con senno a' fiumi impediti le teoriche di fiumi liberi , ottener sovente nelle loro grandiose operazioni idrometriche fortunato successo , non si reputerà inutile il ritenere la distinzione della quale si tratta.

Affinchè una massa d'acqua sia in equilibrio , convien che abbia la superficie orizzontale ; dunque è forza che l'abbia inclinata allorchè essa è in moto. Al moto dell'acqua concorrono principalmente due cagioni , cioè la pressione delle parti superiori , e la inclinazione del letto , perciò il moto dell'acqua si fa maggiore se maggiore diviene la massa , premente come accade nelle piene , e maggiore anche se cresce il pendio dell'alveo , ma risulta dall'esperienza , quest'aumento di moto non esser precisamente proporzionale alle due indicate cagioni e ciò per le resistenze le quali variano anche col variare della velocità dell'acqua.

La velocità dell'acqua non è la stessa in tutte le parti di una sezione medesima , perciocchè quella che rade le sponde soffrendo maggiore attrito di quella che scorre nel mezzo , si muove con una celerità minore. Diversa pure è la velocità nelle diverse altezze della stessa sezione per la diversa pressione dell'acqua che si trova di sopra.

Alcuni scrittori idraulici dopo il Guglielmini han creduto , la celerità de' fiumi dipendere ne' primi tronchi e tra i seni delle montagne dalla declività del fondo ; nelle pianure dall'altezza del corpo d'acqua sovrastante ad ogni particella , e presso la foce dalla inclinazione della superficie. Considerando poi la sezione verticale di un fiume come la parete di un recipiente nella quale sia un numero infinito di piccoli fori , pe' quali l'acqua esce spinta dalla pressione della colonna superiore , si fecero a determinare teoricamente la velocità per le diverse altezze , formando la così detta scala delle velocità. Ma questo metodo come ben dice il Paoli deve condurre necessariamente in errore , perciocchè diverso è lo sgorgar de' liquidi nell'aria o nel vòto dove

la resistenza è nulla o trascurabile, dallo scorrere delle acque per una sezione dove il liquido incontra una resistenza ben diversa. Ed oltre a ciò l'ipotesi sulle quali si fonda la scala delle velocità suppone l'acqua esser mossa solo dalla pressione il che non è vero. Quello poi che si può dedurre di più importante dalle osservazioni e dalle proprietà generali de' fluidi in quanto alla velocità de' fiumi si riduce a ciò che segue.

1°. La velocità di una particella fluida in un dato punto del fiume è il risultamento di tutte le accelerazioni e resistenze che la medesima ha sofferte in tutto il suo corso dall'origine del fiume fino al punto dato.

2°. La velocità, poste le altre cose eguali, è maggiore o minore, secondo che minori o maggiori sono le resistenze del fondo.

Tutt' i corpi solidi soffrono un ritardo dagli ostacoli che al loro moto si oppongono, e non recuperano da loro stessi il moto perduto; non così avviene a' liquidi, i quali mediante la inclinazione di loro superficie riacquistano la velocità perduta per le resistenze. Osservate in fatti come l'acqua sotto gli archi de' ponti trattenuta alquanto da' piloni con la maggiore inclinazione del suo pelo tende a riprendere la perduta velocità. E questo fatto si può anche per le generali proprietà de' fluidi facilmente dimostrare. Sia CD il pelo permanente di un fiume (Tav. agg. fig. 36), e siano A, B due particelle d'acqua situate a qualunque profondità nella medesima orizzontale. È chiaro le due colonne liquide AC, BD , le quali possono considerarsi come in tubi comunicanti, stare in equilibrio, e premersi egualmente, perciocchè, se ciò non fosse, l'acqua dovrebbe innalzarsi in quel braccio nel quale la pressione è minore, il che non si suppone, essendo il pelo CD permanente. Se ora la particella A soffra qualche resistenza, questa può esser riguardata come una forza applicata alla medesima; e per le proprietà generali de' fluidi questa forza per ogni verso trasmettendosi, la particella B soffrirà una pressione per la quale

l'equilibrio tra le colonne A B, C D sarà turbato. L'onde perchè questo equilibrio ritorni è mestieri che la colonna B D diventi più alta di tanto da potere con l'aumento di peso eguagliare l'aumento di pressione della particella A. L'acqua che sopraggiunge ingenera quest' aumento di altezza, ed il pelo dell' acqua prende un' inclinazione maggiore, quale sarebbe C E. In tal modo si spiega anche quell' increspamento che sempre si osserva sulla superficie di un fiume, il quale sicuramente nasce dalle piccole irregolarità che sono dovunque sparse sul fondo del medesimo.

Del resto, non essendo affatto possibile di avere con principj puramente teorici la velocità di un fiume, la miglior via è quella del fatto, facendo uso d'istrumenti all' uopo ideati, molti de' quali si trovau descritti nel tomo 2°. dell' Idrodinamica del Bossut. Il più semplice ed in pari tempo il più comodo tra questi è forse il così detto sifone idrometrico del Pitot, il quale è un tubo (Tav. agg. fig. 37) piegato in K ad angolo retto. Questo tubo s'introduce nell' acqua tenendolo in posizione verticale e con la bocca E rivolta da prima verso la corrente. L'acqua entrando in esso vi si porrà a livello con quella del pelo del fiume. Si pone allora entro del tubo un galleggiante sul quale sia verticalmente fissata una sottil verga divisa in minute parti eguali e si volge la bocca E contro la corrente. L'urto dell' acqua che corre fa ascendere quella stagnante nel tubo, come per es. in I; e le divisioni della verga che si alza mostrano di quando l' acqua ascenda nel tubo. Questa operazione si ripete a varie profondità e si nota per ogn' immersione la misura di L I. Ora siccome l' elevazione L I dell' acqua è prodotta dall' urto della corrente contro il piano E, così per essa si può misurare la quantità dell' urto anzidetto. Ma l' altezza della colonna che misura l' urto è eguale all' altezza dovuto alla celerità della corrente siccome nell' antecedente supplimento fu notato; i diversi valori dunque delle altezze L I faran conoscere le diverse celerità delle correnti

ne' diversi punti e nelle diverse profondità del fiume. La somma delle diverse velocità avute dalle osservazioni fatte divisa per lo numero delle osservazioni suddette darà la velocità media del fiume.

Conosciuta la velocità media del fiume si potrà conoscere anche la portata del fiume, ossia la quantità di acqua che porta in un dato tempo; perciocchè costesa quantità sarà espressa dal prodotto della sezione moltiplicata per la velocità. Se il fiume sia in istato permanente, le sezioni ancorchè diverse daranno portate eguali in tempi eguali, imperciocchè se ciò non accadesse l'acqua continuamente si alzerebbe o si abbasserebbe il che ripugna con l'ipotesi dello stato permanente. Laonde si rende aperto, dovere in tali casi esser maggiore la velocità nelle sezioni più strette per le quali nello stesso tempo deve passare una maggiore quantità di acqua, il che per altro avviene in tutt'i casi nei quali un liquido si muove per canali conici o in qualunque modo convergenti, e vada dal largo verso lo stretto.

Da ciò dunque si può agevolmente comprendere, che qualora si voglia conoscere la portata di un fiume il quale sia in istato permanente, si potrà cercare la velocità media in una di quelle sezioni più regolari le quali perciò diconsi *libere e vive*, perchè con minore incomodo si avranno gli stessi risultamenti.

La maggiore o minore portata di un fiume fa che maggiore o minore sia la forza con la quale esso urta il letto e le sponde. Se la tenacità del terreno del fondo o delle sponde fa equilibrio all'urto della maggior portata del fiume in tempo di piena, esso dicesi avere una *forza esatta*. Se la forza è maggiore della resistenza del fondo e delle rive si dice *troppo grande*, e *troppo piccola* se è minore. La forza troppo grande corrode il fondo e le sponde; quando al contrario è troppo piccola, il fiume deposita sassi, ghiaia, ciottoli, rena ed altri materiali portati dall'acqua. La sola forza esatta sarebbe valevole a conservare la stabilità

del letto di un fiume, ma siccome questa non si ha quasi mai, così quasi sempre i fiumi corrodono in alcuni luoghi, lasciano in altri de' depositi, ed hanno così instabile il letto. Può darsi per altro che il fiume mentre rode in un punto manifestando una forza troppo grande, lasci anche depositi, effetti di forza troppo piccola, imperciocchè l'urto della corrente può ben esser tale da trasportare fino ad un certo punto i materiali di corrosioni già fatte, ma scemandosi in un punto la velocità o perchè il letto è meno inclinato, o perchè è più ampio, o per l'una e per l'altra ragione, non essendo più l'urto sufficiente a trasportare di più questi materiali saranno depositati, ma può facilmente accadere che in questo luogo medesimo sia sì debole la tenacità delle sponde che l'urto dell'acqua quantunque minorato sia ancor sufficiente ad ingenerare corrosioni, ed in tal guisa si avvereranno nello stesso punto gli effetti della forza troppo grande e quelli della troppo piccola. Dal che apparisce la forza della corrente non dover essere paragonata soltanto con la resistenza delle sponde o del letto ma anche con quella de' materiali che seco trasporta.

Vuolsi per altro generalmente tenere per fermo avere il fiume una forza più o meno grande, poste le altre cose eguali, se più o meno n'è l'acqua ed il fondo più o meno inclinato, donde segue che il fiume scaverà più e depositerà meno quanto l'acqua ne sia più alta e maggiore la inclinazione del letto, ed al contrario avendo minore quantità di acqua ed il fondo dell'alveo meno inclinato, meno scaverà e depositerà di più. L'osservazione pienamente conferma questo risultato del raziocinio, facendoci essa conoscere che se i fiumi nelle pianure non abbian l'acqua permanentemente molto alta, fanno deposizioni abbondantissime.

Da queste corrosioni e deposizioni fatte sempre irregolarmente, ne consegue che si generino de' seni e delle tortuosità delle rive, de' gorgi e de' ridossi nel fondo, potenti cagioni di aumento di attrito, e di altri non meno importanti fenomeni.

1°. La velocità de' fiumi si mantiene costante per que' tratti ne' quali l'alveo non soffre alcuna variazione di ampiezza o di declivio laddove essa dovrebbe aumentare, con la legge de' gravi che scendono per piani inclinati, perciocchè questo aumento é d'ordinario distrutto dall' attrito.

2°. Essendo verso le sponde maggiore l' attrito, così l'acqua nel mezzo va con velocità maggiore. Onde segue che ridotto il pelo di un fiume allo stato permanente in tempo di piena, le colonne acquee di una stessa sezione non possono tutte avere la stessa altezza, imperciocchè siccome innanzi fu avvertito, premendosi queste colonne ed equilibrandosi con pesi proporzionali alle altezze, e con le forze loro impresse dalle resistenze, le colonne del filone dovranno esser più alte di quelle vicine alle sponde, e quindi la superficie di un fiume dee conformarsi a curva convessa da sponda a sponda, come si osserva ne' fiumi gonfi. Ma se per qualche ostacolo opposto alla corrente, troppo grande divenga il ritardo dell'acqua meno celere verso le sponde, l'acqua del filone trovandosi libera scorrerà facilmente e quella delle sponde essendo trattenuta alquanto, ne avverrà che questa si tenga di quella più alta, ed in conseguenza la superficie del fiume si mostrerà concava. Dalla minore velocità poi delle acque presso le sponde si spiega onde avvenga, che le deposizioni verso le sponde sian d'ordinario più copiose.

3°. Le deposizioni irregolarmente fatte in conseguenza dell' attrito divenendo esse stesse cagioni di attrito maggiore, e quindi di nuove deposizioni, ne segue che talvolta il letto del fiume continuamente innalzandosi giunge finalmente al disopra delle campagne adiacenti, le quali sono perciò da pericolose inondazioni minacciate. Si ricorre in questi casi agli argini per contenere le acque. Ma la principale cagione di deposizioni così abbondanti, come anche di molte alluvioni è sovente l'opera dell'uomo. L'acqua delle piogge che cade sulle montagne scendendo variaamente verso le falde,

ingenera d'ordinario l'ingrossamento de' fiumi. Or se i monti sian coperti di piante, l'acqua trovando continuo ostacolo scenderà lentamente, ed una gran parte penetrerà nel seno de' medesimi per dar poscia origine a sorgive e rigagnoli che d'ordinario sgorgar si veggono alle falde de' monti, e quella porzione che giunge al basso della valle ritardata di continuo da mille ostacoli, passa per un suolo resistente, non può recar seco molte materie, nè può giungere copiosa ed istantanea, dal che segue una piena meno impetuosa e quindi meno carica di materie dalle quali si fanno le deposizioni. Ma se i monti ed i terreni in pendio siano privati delle loro boscaglie, se il suolo ne sia smosso per metterlo a cultura, le acque precipitosamente scendendo trasporteranno terreno sassolini ed altre cose simili e giungendo con impeto ingrosseranno le piene in modo tale che la forza delle correnti scaverà e roderà nel suo passare traendo seco gran copia di materiali, che depositerà ne' luoghi ove troverà un letto più ampio e meno inclinato, producendo così il continuo innalzamento del fondo, in tal guisa lo sboscamento delle montagne non solo fa perdere spesso le utili sorgenti d'acqua, e mille altri danni arreca, ma è la principale cagione alteratrice del corso de' fiumi.

Quando la forza del fiume è troppo grande essa scaverà il fondo e roderà le sponde, per la qual cosa il letto del fiume si farà più ampio e più profondo: renduto il letto più ampio la forza della corrente si scema e quindi si avrà un certo equilibrio. La tenacità del fondo che d'ordinario suol'esser maggiore di quella delle sponde, e la diminuzione di altezza delle acque per lo allargamento del letto son le cagioni secondo il Guglielmini per le quali il fiume cresce piuttosto in ampiezza che in profondità. Per questo mezzo la corrente si pone in equilibrio con la resistenza del letto.

Da ciò s'intende perchè i fiumi entro i quali scorron sovente piene grandissime, e dopo rapidamente si abbassano sogliono avere un letto più instabile di

quelli che avendo un ampio letto e portando perennemente gran copia di acque non soffrono dalle piene grandi alterazioni.

Coloro che bramassero d'istruirsi intorno alla teorica de' fiumi potranno consultare le opere del Guglielmini, del Zendrini, e di tanti altri scrittori Italiani che si sono versati di proposito a trattare di queste materie.

CAPO IX

Del moto de' gas.

113. Possono i gas del pari che i liquidi sgorgare per fori fatti in sottili pareti, o per tubi e cannelle: possono egualmente sgorgare sotto pressioni costanti, o variabili. Gli strumenti mercè i quali si fanno uscire i gas sotto pressioni costanti si dicono *gassometri*.

114. *De' gassometri*. — Lo sgorgare costante di un gas, quando si voglia molta esattezza, è prodotto da quello di un liquido; ed il vaso di Mariotte è per ciò comodissimo. In questo caso si dispone nel modo espresso dalla figura 133. Il grosso collo del recipiente è incollato nel riserbatoio del gas; l'acqua cade per lo foro *v*; se ve ne giungan 20 litri in un secondo, è forza che 20 litri di gas ne sian cacciati nello stesso tempo pe' fori o tubi di uscita. Per applicare questo principio a' gas diversi dall'aria, si raccolgono in grandi vesciche o in palloni di quelle pellicole fatte d'intestini di bue nelle quali si avvolge loro per metterlo in foglie (*baudruche*), i quali si chiudono in un altro riserbatoio: l'aria che esce dal primo riserbatoio va nel secondo, esercita una costante pressione su queste membrane elastiche, ed ingenera una costante uscita di gas.

I grandi gassometri del *termolampo* (1) son fabbricati sopra un altro principio: un cilindro ad un sol fondo (*fig. 166*) è capovolto sopra una gran va-

(1) Chiamasi così quel grande apparecchio che serve per fare le illuminazioni a gas.

sca d'acqua. Questo cilindro è di sottili lamine metalliche ed ha per esempio 10 metri di diametro, contien 100 metri cubici di gas, e suppongo che pesi 10000 chilogrammi. Esso non scende nell'acqua, perchè è pieno di gas, ma preme col suo peso sul gas e lo mantiene sotto una pressione un po più grande della pressione atmosferica. Nella nostra ipotesi questo di più di pressione sarebbe di 10000 chilogrammi sopra una base di 10 metri di raggio, il che equivale presso a poco ad una colonna d'acqua di 10 centimetri. S'immagini ora che dal fondo della cisterna venga un tubo il quale si apra alquanto sopra del livello dell'acqua entro del gassometro, e che dall'altra parte si divida in mille ramificazioni terminate da' becchi del termolampo, s'intenderà facilmente che basterà voltare una chiavetta per illuminare una grande città. Lo sgorgar del gas, sarà costante perciocchè il gassometro perderà appena una picciolissima parte di suo peso scendendo nell'acqua della vasca; del resto si può mercè di contrappesi dare al gassometro una regolarità maggiore, ovvero moderare la sua pressione. Per empirie il gassometro, si chiude la chiavetta di distribuzione, e se ne apre un'altra la quale stabilisce la comunicazione tra le storte dove il gas si forma ed il tubo verticale che dal fondo della vasca si eleva fino sull'interno livello dell'acqua.

115. *Legge dello sgorgar de' gas secondo la teoria di Daniele Bernulli.* — Daniele Bernulli supponeva il teorema di Torricelli esser vero non solo pe' liquidi ma anche pe' gas, e partendo da questo principio esprimeva la velocità dello sgorgare de' gas con la seguente formola.

$$v = \sqrt{2k \frac{(p-p')}{p}} (1)$$

v è la velocità di uscita,

(1) V. Peccet. *Traité élémentaire de Physique* tom. I §. 35: — e A. Caffè. *Application des principes de mécanique* ecc. §. 64 e seg. In quest'ultima opera è riportata anche la formola di Poncelet.

p la pressione interna,

p' la pressione esterna,

$2k$ un coefficiente costante eguale a 155610 per l'aria alla temperatura del diaccio in liquefazione, il cui valore varia in ragione inversa della densità per gli altri gas presi alla temperatura medesima.

116. *Legge dello sgorgare de' gas secondo la teoria del signor Navier.* — Tutt' i geometri che si versarono intorno allo sgorgar de' fluidi elastici avean ritenuta la teorica di Daniele Bernoulli: ma il signor Navier ha stabilito una nuova teoria in una importantissima memoria (Memorie dell' Accademia delle Scienze per l'anno 1830). Secondo il signor Navier la velocità di uscita è espressa dalla formola.

$$v = \sqrt{2k (\text{Log } p - \text{Log } p')}$$

Le stesse lettere dinotano le stesse cose che dinotavano nella formola antecedente, ma il coefficiente $2k$ deve essere moltiplicato per 2,30206 allorchè si voglia fare uso delle tavole de' logaritmi volgari.

Questa formola vale solo nel caso che il foro sia picciolissimo rispettivamente alla sezione del gassometro.

È facile l'avvedersi, le due precedenti formole dare presso a poco i risultamenti medesimi quando la pressione p non superi gran fatto l'altra p' , darne al contrario assai diversi allorchè le due pressioni, l'interna cioè, e l'esterna offrano notabile differenza, come per esempio nel caso che l'aria passi nel vòto.

117. Le velocità che si hanno dalle formole antecedenti sono le *velocità teoriche*, e per verificare la teoria è mestieri paragonarle alle *velocità effettive*: questesi determinano con l'esperienza, osservando, come abbiám fatto pe' liquidi, il volume del gas che esce in un dato tempo. Le più precise esperienze che sianusi fatte sul proposito son dovute al signor Lagerhjelm (*Mem. de l' Acad. de Stockholm* 1822), ed al signor D'Aubisson (*Ann. des mines*, 1826). Le velocità effettive trovate da questi valenti osservatori sono minori

della velocità teorica avuta dalla formola del signor Navier, donde si conclude la *vena fluida de' gas* soffrire una contrazione come quella de' liquidi, e cercando quale dovrebbe essere la sezione della vena contratta acciocchè la teoria desse tutt' i risultamenti della sperienza, si trova questa aversi col moltiplicare l'area del foro per 0,61 o 0,62. Ne' gas dunque si ha egualmente la contrazione della vena fluida la quale appena differisce da quella che si ha ne' liquidi.

Quando i gas escono dal gassametro per cannelle coniche o cilindriche la cui lunghezza non sia più di 7 o 8 volte maggiore del diametro; si trova la portata essere alquanto maggiore di quella che avrebbersi avuta se il gas fosse uscito per un foro fatto in una lamina sottile; ma non si hanno finora molte esperienze mercè le quali si potesse fare un esatto paragone tra la portata effettiva e la teorica.

118. *Macchine per soffiare* — Ne' fornelli ad alte temperature e pe' grandi fuochi delle fucine si adopèrano alcune macchine da soffiare, di svariatissime forme (1). Noi abbiamo espressa nella fig. 167 quella di cui al presente si fa uso ne' migliori stabilimenti: *cc'*, è un cilindro metallico liscio; *p* uno stantuffo la cui asta *t* passa per una cassetta foderata di stoppa *d*; lateralmente a ciascuno de' fondi superiore ed inferiore del cilindro sonovi due animelle *a*, *b'*, ed *a'*, *b*. Le due *a* ed *a'* sono d'*inspirazione*, aprendosi di fuori in dentro; le due *b*, *b'* sono di *espirazione*, aprendosi di dentro in fuori. Una ruota idraulica, ovvero una macchina a vapore imprime allo stantuffo il móto di va e vieni. Si comprende, che durante la discesa dello stantuffo, restano aperte soltanto le animelle *a*, *b*, la prima inspirando, espirando l'altra; l'opposto avvien allorchè lo stantuffo ascende. L'aria espirata è compressa e raccolta nel tubo *gh* per esser quindi recata al fuoco.

Il *mantice di appartamento* (fig. 168) è in un certo modo più complicato della macchina a stantuffo;

(1) V. Peelet op. cit.

ma da quello che abbiamo innanzi detto agevole riuscirà di comprenderne gli effetti.

Il mantice di *marechal* altro non è che un gran mantice di appartamento.

119. *Delle pressioni laterali de' gas durante il loro sgorgare.* Nelle macchine da soffiare delle grandi fucine avviene un notevole fenomeno descritto dal sig. Clement-Desormes (*Ann. de Phys. et de Chim*; t. 36, p. 69). Fatto un foro di 1 o 2 pollici di diametro nella parete piana di un riserbatoio di aria compressa, questa si vede uscire con gran violenza; ma se vi si accosti un disco di legno o di metallo di 7 in 8 pollici di diametro, e dopo di aver vinta la prima resistenza si applichi sul foro, non sarà più come prima respinto, esso si vedrà oscillare rapidamente avvicinandosi al foro e scostandosi da quello per piccolissime distanze: l'aria intanto con grande strepito tra la parete del riserbatoio continua ad uscire, ed un grande sforzo si richiederà per rimuovere il disco, che sebbene staccato dalla parete, pure vi sembra incollato. Il sig. Clement-Desormes dà di questo fenomeno una spiegazione la quale a' principj del moto de' fluidi sembra interamente conforme. La vena che esce dal foro deve spandersi in sottilissime falde per poter passare tra il disco e la parete (*fig. 175*); rimanendo la grossezza la stessa, deve allargarsi a misura che si avvicina alla circonferenza del disco; e però trovasi nel caso di una vena fluida che deve empire un cono le cui sezioni vadan sempre crescendo, donde conseguirne dee una maniera di succiamento perfettamente simile a quello che nelle cannelle coniche abbiám veduto avvenire (1).

(1) Di alcune altre proprietà de' gas sarà discorso nel volume seguente.

Tutte le materie trattate nel primo libro sono dall'Autore riportate sotto la categoria della gravità, quindi avrei potuto qui aggiungere il promesso supplimento riguardante la gravitazione universale, ma ho divisato invece porlo innanzi alla meteorologia.

AVVERTIMENTO

Parlandosi in quest'opera sovente del metro del chilogrammo e de' loro multipli e summultipli, non sarà fuori proposito riportare qui appresso due tavole mercè le quali si potranno queste misure e pesi paragonare non solo col nostro palmo e con la nostra libbra, ma anche con le altre unità di misure e pesi di altri luoghi.

TAVOLA

DELLE MISURE LINEARI DI DIVERSI PAESI, ESPRESSE IN METRI;
ED AL CONTRARIO.

	PIEDE ESPRESSO IN METRI.	METRO ESPRESSO IN PIEDI.
Ancona	0,4096	2,4416
Bergamo	0,4378	2,2843
Bologna	0,3801	2,6309
Brescia	0,4710	2,1232
Como	0,4512	2,2162
Cremona	0,4835	2,0681
Firenze. <i>Braccio</i>	0,5830	1,7152
Fermo	0,4245	2,3559
Ferrara	0,4039	2,4761
Forlì	0,4882	2,0483
Genova. <i>Palmò</i>	0,4491	4,0145
Londra	0,3048	3,2809
Macerata	0,5585	1,7905
Mantova	0,4669	2,1420
Milano { <i>Braccio</i>	0,5949	1,6808
{ <i>Piede</i>	0,4352	2,2979
Modena	0,5230	1,9119
Napoli <i>Palmò</i>	0,2620	3,8166
Novara	0,4709	2,1234
Padova e Vicenza	0,3574	2,7980
Parigi	0,3248	3,0784
Piede del Reno	0,5158	3,1869
Reggio	0,5309	1,8836
Roma { <i>Palmò</i>	0,2254	4,4762
{ <i>Piede antico</i>	0,2953	3,3865
Torino. <i>Piede</i>	0,5137	1,9467
Treviso	0,4081	2,4503
Udine	0,3405	2,9369
Venezia e Belluno	0,3477	2,8758
Verona	0,3429	2,9162
Vienna	0,3161	3,1635

TAVOLA

DE' PESI ESPRESSI IN CHIOGRAMMI, O LIBRE METRICHE;
ED AL CONTRARIO.

	LIBBRA ESPRESSA IN CHILO- GRAMMI.	CHILO- GRAMMO ESPRESSO IN LIBBRE
Amsterdam	0,4850	2,0703
Ancona	0,3296	3,0541
Bergamo	0,3251	3,0757
Bologna	0,3619	2,7636
Brescia	0,3208	3,1171
Como	0,3667	3,1579
Cremona	0,3095	3,2311
Fermo	0,3210	3,1155
Ferrara	0,3451	2,8974
Firenze e Roma	0,3393	3,9469
Forlì	0,3294	3,0354
Genova	0,3168	3,1568
Londra { <i>Libbra d. Troys di Onc. 12.</i>	0,3731	2,6800
{ <i>Libbra d. Avoir du poids di</i>		
{ <i>Once 16.</i>	0,4536	2,2045
Macerata, come Firenze e Roma	0,3105	3,2203
Mantova	0,3268	3,0600
Milano	0,3405	2,9372
Modena	0,3208	3,1176
Napoli	0,3255	3,0724
Novara	0,3389	2,9509
Padova e Vicenza { <i>Libbra sottile . . .</i>	0,4865	2,0553
{ <i>Libbra grossa . . .</i>	0,4895	2,0429
Parigi	0,3245	3,0814
Reggio	0,3688	2,7112
Torino		
Treviso { <i>Libbra sottile come Padova .</i>	0,5167	1,9352
{ <i>Libbra grossa</i>	0,3012	3,3197
Venezia e Udine { <i>Libbra sottile . . .</i>	0,4770	2,0964
{ <i>Libbra grossa . . .</i>	0,3332	3,0014
Verona { <i>Libbra sottile</i>	0,4998	2,0009
{ <i>Libbra grossa</i>	0,5600	1,7857
Vienna		

INDICE

NOZIONI PRELIMINARI

CAPO PRIMO

§. 1. <i>Dei fenomeni naturali</i>	1
— 2. <i>Dello spazio</i>	4
— 3. <i>Del tempo</i>	5
— 4. <i>Della materia e de' diversi stati de' corpi</i>	6
— 5. <i>Delle forze</i>	10
— 6. <i>Della quiete e del moto</i>	12
— 7. <i>Dell'inerzia</i>	15

CAPO II.

— 8. <i>Delle proprietà generali de' corpi</i>	20
— 9. <i>Divisibilità</i>	ivi
— 10. <i>Porosità</i>	28
— 11. <i>Compressibilità</i>	34
— 12. <i>Elasticità</i>	36
— 13. <i>Dilatabilità</i>	39

CAPO III.

Equilibrio e moto

— 14. <i>Obbietto della statica e della dinamica</i>	41
— 15. <i>Paragone delle forze</i>	ivi
— 16. <i>Che cosa s'intenda per sistema di forze e per risultante</i>	42
— 17. <i>Risultante di più forze dirette per la stessa linea</i>	43
— 18. <i>Risultante di due forze operanti sullo stesso punto</i>	ivi
— 19. <i>Risoluzione delle forze</i>	46
— 20. <i>Risultante di un numero qualunque di forze operanti sullo stesso punto</i>	ivi
— 21. <i>Risultante delle forze parallele</i>	ivi
— 22. <i>Delle coppie</i>	47
— 23. <i>Della leva</i>	48
— 24. <i>Pressione sull'ipomoclio della leva</i>	49
— 25. <i>Leva del 1°, 2°, e 3° genere</i>	ivi
— 26. <i>Moto uniforme</i>	50

	297
— 27. <i>Conseguenze dell'inerzia della materia</i>	51
— 28. <i>La comunicazione del moto non è istantanea</i>	ivi
— 29. <i>Quantità di moto</i>	52
— 30. <i>Comunicazione di moto</i>	55
— 31. <i>Forza centrifuga</i>	63
— 32. <i>Moto uniformemente accelerato</i>	64
— 33. <i>Velocità del moto vario in generale</i>	65
— 34. <i>Leggi e formole del moto uniformemente accelerato</i>	ivi

LIBRO PRIMO

DELLA GRAVITA'

CAPO I.

Direzione della gravità

— 35. <i>Effetti generali della gravità</i>	80
— 36. <i>Direzione della gravità</i>	82

CAPO II.

Legge della caduta de' gravi

— 37. <i>Caduta de' corpi nell'aria</i>	86
— 38. <i>Caduta de' corpi nel vòto</i>	88
— 39. <i>Piano inclinato del Galilei</i>	89
— 40. <i>Macchina di Atwood</i>	90

CAPO III.

Equilibrio de' corpi ponderabili

— 41. <i>Differenza tra la gravità ed il peso</i>	95
— 42. <i>Centro di gravità</i>	96
— 43. <i>Equilibrio de' corpi ponderabili</i>	98
— 44. <i>Fenomeni molecolari de' quali è mestieri tener conto nel trattar dell'equilibrio</i>	101
— 45. <i>Descrizione della bilancia</i>	103
— 46. <i>Del peso, della massa e della densità</i>	106

CAPO IV.

Pendolo

— 47. <i>Definizioni risguardanti il pendolo</i>	114
— 48. <i>Leggi delle vibrazioni del pendolo</i>	115

— 49.	<i>Intensità della gravità-Pendolo semplice.</i>	119
— 50.	<i>Pendolo composto</i>	120
— 51.	<i>Figura della terra</i>	123
— 52.	<i>Uso del pendolo per la determinazione della depressione della terra</i>	127
— 53.	<i>Deviazione del filo a piombo per l'attrazione delle montagne</i>	128
— 54.	<i>Densità media della terra conosciuta mercè lo strumento di Cavendish</i>	130

CAPO V.

Idrostatica

— 55.	<i>Obbietto dell'idrostatica</i>	173
— 56.	<i>Principio di eguaglianza di pressione</i>	ivi
— 57.	<i>Condizioni di equilibrio dei liquidi</i>	175
— 58.	<i>Determinazione delle pressioni che i liquidi esercitano sulle pareti.</i>	177
— 59.	<i>Centro di pressione.</i>	183
— 60.	<i>Equilibrio dei liquidi ne' vasi comunicanti</i>	ivi
— 61.	<i>Del livello del mare</i>	186
— 62.	<i>Fenomeni che si osservano alle imboccature dei fiumi</i>	189

CAPO VI.

Equilibrio dei gas

— 63.	<i>Nozioni sull'altezza dell'atmosfera</i>	190
— 64.	<i>I gas sono soggetti alla gravità, ed all'azione molecolare</i>	191
— 65.	<i>Esperienza che dimostra la gravità dell'aria</i>	ivi
— 66.	<i>Esperienza che dimostra l'azione molecolare, ed elasticità dei gas</i>	192
— 67.	<i>Condizioni di equilibrio dei gas</i>	194
— 68.	<i>Pressione atmosferica</i>	196
— 69.	<i>Misura della pressione atmosferica</i>	198
— 70.	<i>Fabbrica del barometro</i>	201
— 71.	<i>Barometro comune</i>	203
— 72.	<i>Barometro a quadrante di Jecker.</i>	ivi
— 73.	<i>Barometro di Gay-Lussac.</i>	204
— 74.	<i>Barometro di Fortin</i>	ivi
— 75.	<i>Variazioni del barometro</i>	205
— 76.	<i>Altezze medie del barometro</i>	206
— 77.	<i>Variazioni accidentali</i>	207
— 78.	<i>Variazioni orarie</i>	209
— 79.	<i>Legge di Mariotte</i>	210
— 80.	<i>Macchina pneumatica</i>	215

	299
— 81. <i>Macchina di compressione</i>	220
— 82. <i>Tromba di compressione</i>	221
— 83. <i>Manometro e misura della pressione dei gas in diversi apparati</i>	ivi
— 84. <i>Schioppo pneumatico</i>	223

CAPO VII.

Corpi galleggianti

— 85. <i>Corpi gravi che s'innalzano nei fluidi</i>	224
— 86. <i>Principio di Archimede</i>	ivi
— 87. <i>Condizioni di equilibrio de' corpi immersi</i>	227
— 87. bis. <i>Condizioni di equilibrio dei corpi galleggianti</i>	230
— 88. <i>Mongolfiere ed Areostati</i>	231

CAPO VIII.

Principi d'idrodinamica

— 89. <i>Obbietto dell'idrodinamica</i>	234
— 90. <i>Condizioni dello sgorgare dei fluidi, e teorema di Torricelli</i>	235
— 91. <i>Maniere diverse per avere una pressione costante</i>	237
— 92. <i>Si verifichi coll'esperienza il teorema di Torricelli</i>	239
— 93. <i>Conformazione della vena fluida</i>	242
— 94. <i>Cannelle e loro azione sullo sgorgare dei fluidi</i>	244
— 95. <i>Unità di misura per la distribuzione delle acque</i>	246
— 96. <i>Pressioni laterali ingenerate dai liquidi in moto</i>	247
— 97. <i>Reazione prodotta dallo sgorgare dei fluidi</i>	248
— 98. <i>Getti di acqua</i>	249
— 99. <i>Effetti dell'urto di una vena fluida contro un corpo solido</i>	250
— 100. <i>Effetti dell'urto di due vene fluide opposte</i>	254
— 101. <i>Diversi strumenti che dipendono dalle pressioni dell'aria, e dei liquidi</i>	257
— 102. <i>Sifone</i>	ivi
— 103. <i>Fontana di compressione</i>	258
— 104. <i>Fontana intermittente</i>	259
— 105. <i>Fontana di Erone</i>	ivi
— 106. <i>Luceŕna a gas idrogeno</i>	260
— 107. <i>Tromba aspirante ed elevatoria</i>	261
— 108. <i>Tromba aspirante e premente a corpo di tromba lasciato</i>	262
— 109. <i>Tromba aspirante e premente a corpo di tromba non lasciato</i>	ivi
— 110. <i>Tromba dei Preti</i>	263
— 111. <i>Strettoio idraulico</i>	264
— 112. <i>Ariete idraulico</i>	266

CAPO IX.

Moto dei gas

— 113.	Analogia tra i liquidi ed i gas per ciò che riguarda il loro sgorgare	288
— 114.	Gassometro	ivi
— 115.	Teoria di Bernoulli riguardante lo sgorgare dei gas	289
— 116.	Teoria di Navier	290
— 117.	Velocità teoriche, e velocità effettive	ivi
— 118.	Macchina soffiante	291
— 119.	Pressioni laterali esercitate dai gas in moto	292

SUPPLEMENTI

SUPPLEMENTO 1°.

Che cosa sia spiegare un fenomeno	17
---	----

SUPPLEMENTO 2°.

I. Delle leggi del moto	ivi
II. Momenti di rotazione	68
III. Dell'equilibrio	76

SUPPLEMENTO 3°.

I. Della discesa dei gravi per piani inclinati	109
II. Del moto per le curve	113

SUPPLEMENTO 4°.

Schiarimenti sulla dottrina dei pendoli

I. Di alcune proprietà della cicloide	133
II.-III. Applicazioni al moto dei pendoli	136, 140
IV. Centro di percossa	141

SUPPLEMENTO 5°.

Breve cenno sulle macchine

I. Idee generali	143
II. Della leva	153
III. Della carrucola o girella	157
IV. Asse nella ruota	160
V. Del piano inclinato	162
VI. Della vite	163
VII. Del cono	167
VIII. Avvertimento intorno alle dottrine precedenti	168
IX. Dell'attrito	ivi
X. Rigidezza delle funi	171

SUPPLEMENTO 6°.

I-II-III-IV. Si dichiarano alcune teoriche d'idrostatica e d'idrodinamica	268
---	-----

SUPPLEMENTO 7°.

Del moto de' fiumi	289
------------------------------	-----

C06908

SBN

Fig. 4.

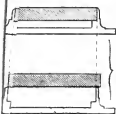


Fig. 8.

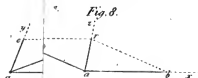


Fig. 12.

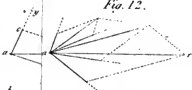


Fig. 14.

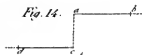


Fig. 15.

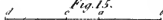


Fig. 16.

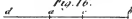


Fig. 22.

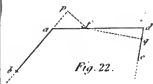


Fig. 27.

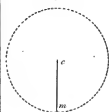


Fig. 28.



20.

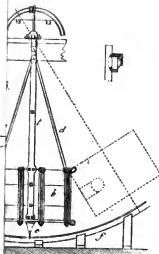
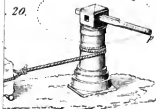
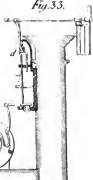




Fig. 34.



Fig. 33.



7.

Fig. 38.

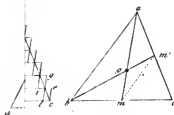


Fig. 43.

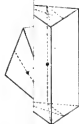


Fig. 44.

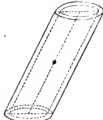


Fig. 32.



Fig. 45.



Fig. 48.

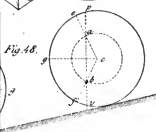


Fig. 49.

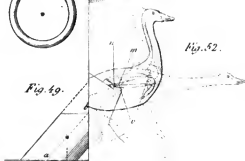


Fig. 52.





Fig. 60.

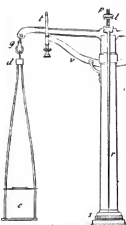


Fig. 67.

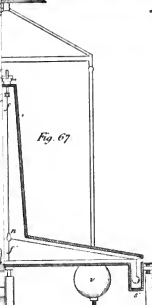


Fig. 59.



68.

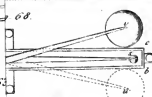


Fig. 62.

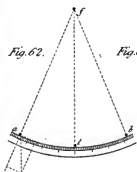


Fig. 63.

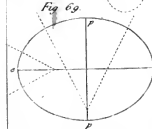


Fig. 69.



Fig. 72.



Fig. 73.



Fig. 74.



Fig. 80.



Fig. 81.



Fig. 84.



Fig. 85.



Fig. 88.

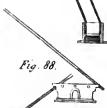


Fig. 93.



Fig. 94. Fig. 95.



Fig. 103.



Fig. 104.



Fig. 105.

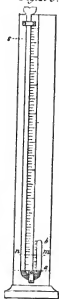


Fig. 102.





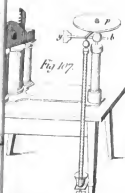


Fig. 117.



Fig. 121.



Fig. 114.



Fig. 115.



Fig. 116.

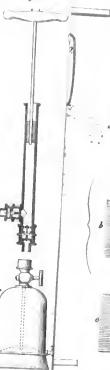


Fig. 125.



Fig. 122.



Imperato inc.



Fig.

Fig. 132.

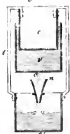


Fig. 133.



Fig. 137.



Fig. 138.

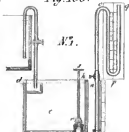
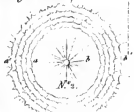
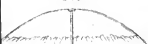


Fig. 144.

Fig.



N°3.



N°4.



N°6.



N°5.



N°5.



N°4.



N°2.

N°3.





Fig. 158.

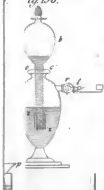


Fig. 159.



Fig. 163.



Fig. 164.



Fig. 167.

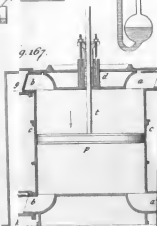


Fig. 174.



Fig. 173.

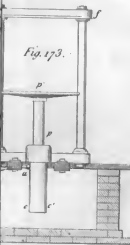
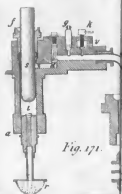
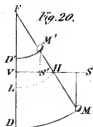
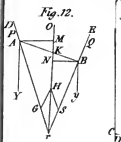
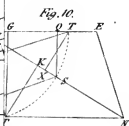
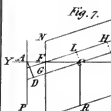
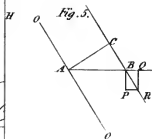
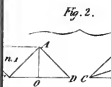


Fig. 171.







1
/

/

4

Fig. 2.



Fig. 26.

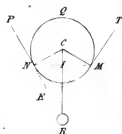


Fig. 28.



Fig. 31.

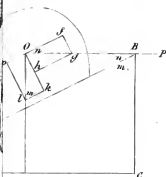


Fig. 31 bis

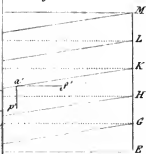


Fig. 34.









